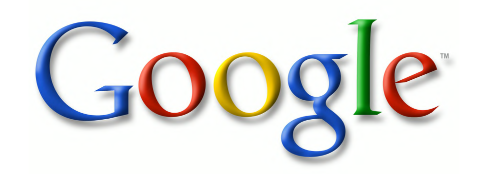
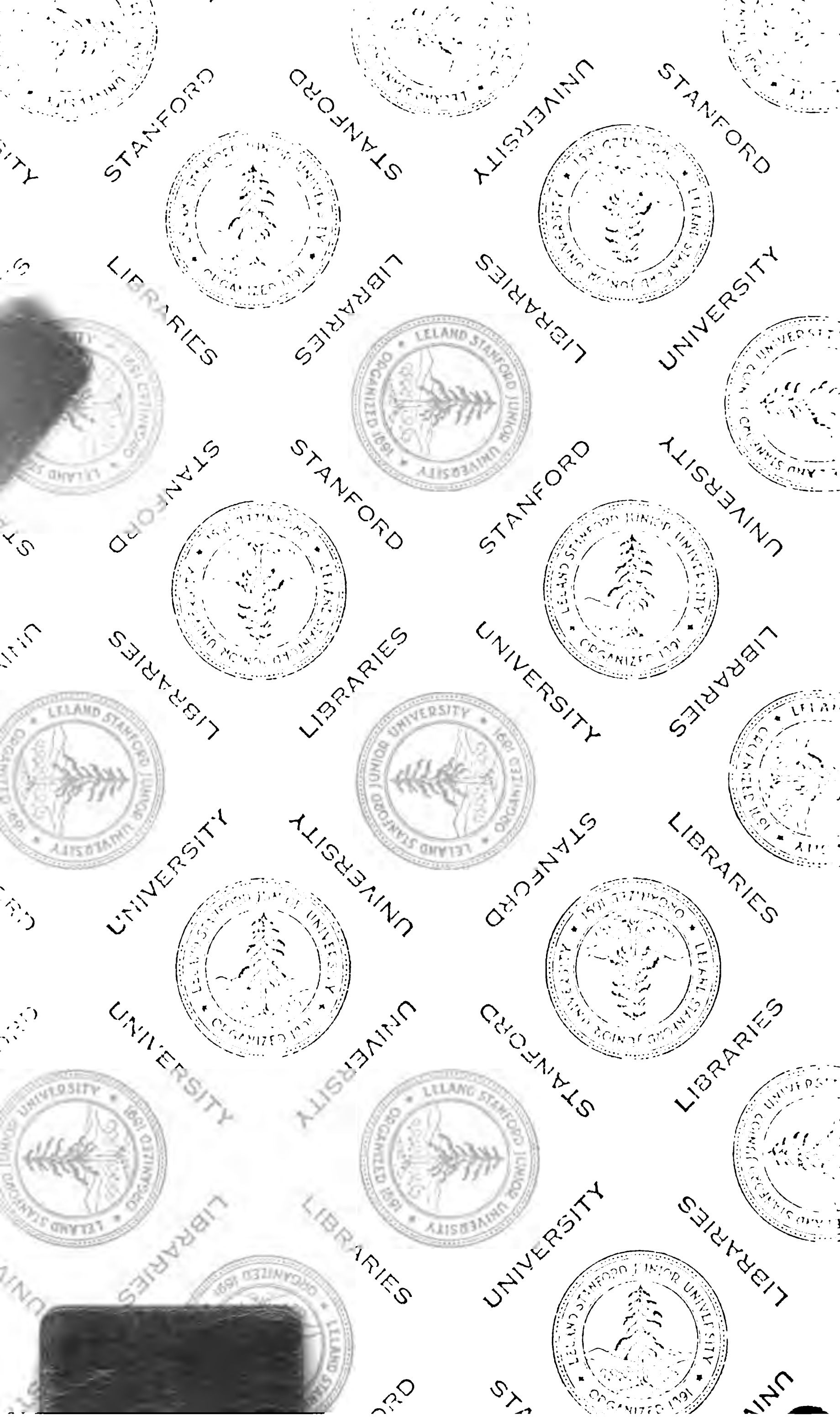
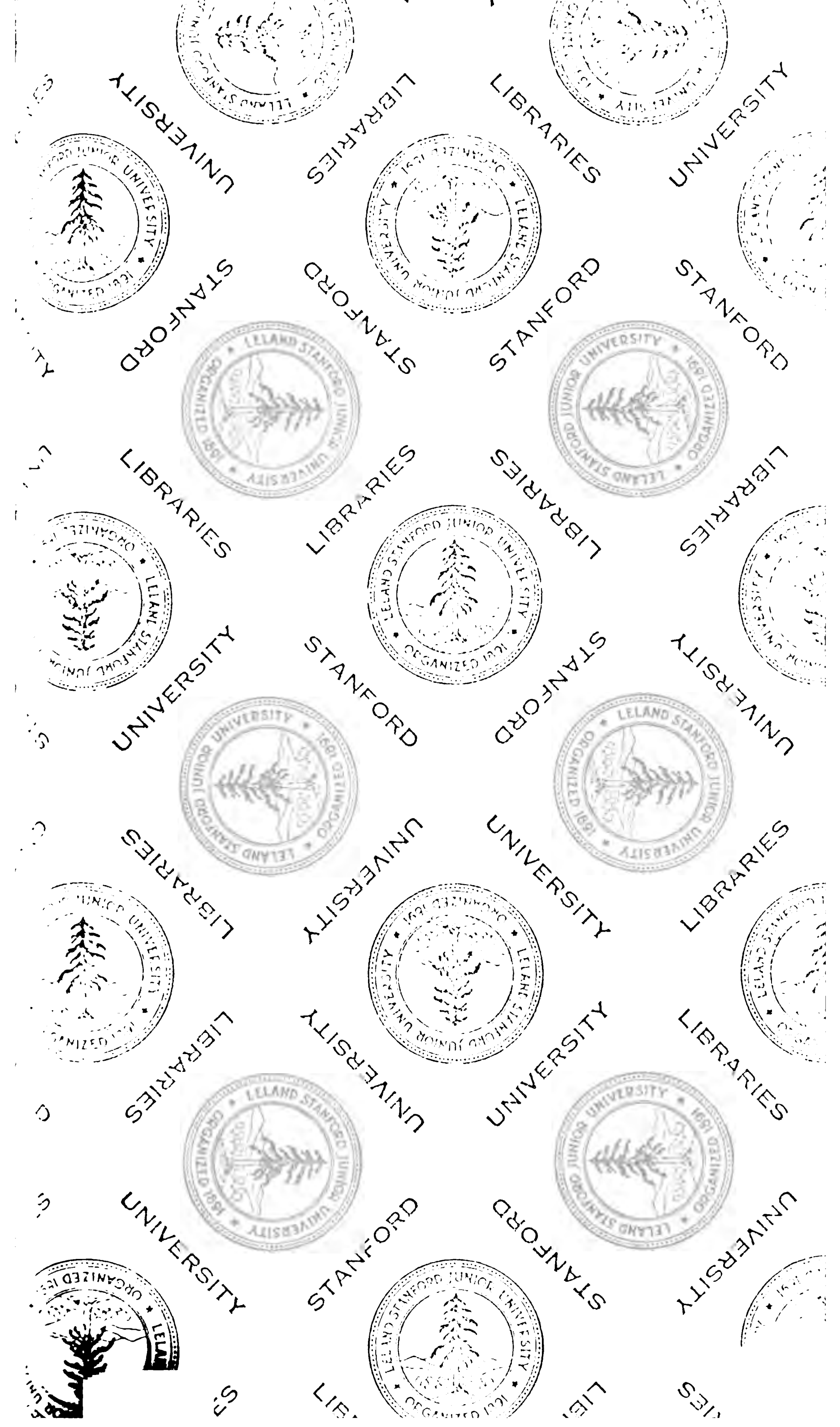



STANFORD
UNIVERSITY
LIBRARIES
LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY
ORGANIZED 1891


STANFORD
UNIVERSITY
LIBRARIES
LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY
ORGANIZED 1891

JOURNAL

DES

ARMES SPÉCIALES

ET DE

L'ÉTAT-MAJOR

RECUEIL SCIENTIFIQUE

Du Génie, de l'Artillerie, de la Topographie Militaire, etc., etc.

PUBLIÉ SUR LES DOCUMENTS FOURNIS PAR LES OFFICIERS
DES ARMÉES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

PAR J. CORRÉARD,
Ancien Ingénieur.

CINQUIÈME SÉRIE. — TOME XV. — 32e ANNÉE.

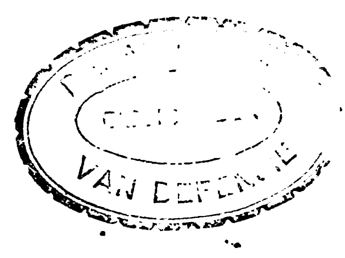
15 Juillet 1865.

N° 7.

PARIS
LIBRAIRIE MILITAIRE, MARITIME ET POLYTECHNIQUE
J. CORRÉARD, éditeur,
3, BOULEVARD SAINT-ANDRÉ, 3,
Maison de la fontaine Saint-Michel.

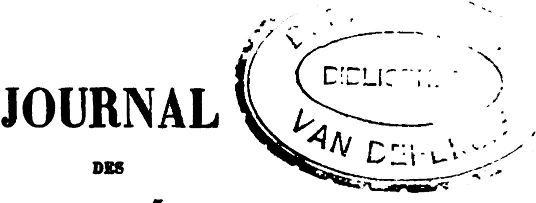
1865



JOURNAL

DES ARMES SPÉCIALES.



JOURNAL

DES

ARMES SPÉCIALES

ET DE

L'ÉTAT-MAJOR

RECUEIL SCIENTIFIQUE

Du Génie, de l'Artillerie, de la Topographie Militaire, etc., etc.

PUBLIÉ SUR LES DOCUMENTS FOURNIS PAR LES OFFICIERS DES ARMÉES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

PAR J. CORRÉARD,

Ancien Ingénieur.

CINQUIÈME SÉRIE. — TOME XIV. — 32e ANNÉE — Nos 7, 8 ET 9.

Juillet, Août et Septembre 1865.

PARIS

LIBRAIRIE MILITAIRE, MARITIME ET POLYTECHNIQUE

J. CORRÉARD, éditeur,

3, BOULEVARD SAINT-ANDRÉ, 3

Maison de la fontaine Saint-Michel.

1865

JOURNAL DES ARMES SPECIALES.

ARTILLERIE ET CUIRASSES

PREMIÈRE PARTIE

ARTILLERIE

(Suite. — Voir le numéro du 15 mai, page 228.)

CHAPITRE III

EFFORTS ET STRUCTURE DES CANONS.

SECTION I. — RÉSISTANCE A LA PRESSION DU FLUIDE ÉLASTIQUE.

277. Les efforts auxquels les canons sont soumis par suite de la pression de la poudre, ont été constatés par le capitaine Benton *.

1. L'effort *selon la tangente*, qui agit pour ouvrir la pièce perpendiculairement à sa longueur. ***

2. L'effort *longitudinal*, qui agit pour séparer la pièce dans le sens de sa longueur. ***

3. Un effort *de compression*, qui agit à partir de

* « Ordnance and Gunnery, » 1862.

l'axe vers l'extérieur, pour écraser les coins tronqués dont on peut supposer que la réunion a formé la pièce. ***

4. Un effort *transversal*, qui agit pour briser transversalement, en infléchissant sur l'intérieur les languettes dont on peut supposer que la pièce est formée. ***

Soit p la pression sur l'unité de surface de l'âme, et s la force de tension du métal, on peut démontrer par l'analyse que la tendance à la rupture, ou la pression sur l'unité de longueur de l'âme, divisée par la résistance que les côtés sont capables d'offrir à la rupture, pour une pièce ayant un calibre d'épaisseur de métal, seront comme suit :

Effort selon la tangente, $\frac{3p}{2s}$;

en d'autres termes, la rupture aura lieu quand le triple de la pression sera plus grand que le double de la force de tension.

Effort longitudinal, $\frac{p}{2s}$;

en d'autres termes, la rupture aura lieu dans la direction de la longueur, quand la pression sera plus grande que deux fois la force de tension.

Effort transversal, $\frac{2p}{3s}$;

en d'autres termes, la rupture aura lieu quand le double de la pression sera supérieure au triple de la force de tension.

D'après ce qui vient d'être dit, il est évident que la tendance à la rupture est plus grande par suite de l'effort selon la tangente que par suite de tout autre ; et que pour les longueurs qui dépassent deux ou peut-être trois calibres, on peut dire que la résistance suivant la tangente agit seule, comme l'augmentation provenant de la résistance transversale ne sera qu'une chose insignifiante pour des âmes ou des bouches d'une plus grande longueur.

278. I. Augmentation de l'épaisseur des parois. — Le moyen le plus naturel de mettre un vase en état de résister à un excès de puissance élastique, comme celle du gaz produit par l'explosion de la poudre, consiste à lui donner des côtés plus épais, afin d'augmenter l'aire de résistance qui doit être déchirée. Cette règle est fondée sur la pratique journalière des machines qui ont des pressions relativement basses et des parois minces. Même dans le cas où il s'agit de canons de petit calibre, il a été démontré qu'elle est suffisamment sûre. Mais quand ces conditions sont grandement changées, quand le problème est, par exemple, de

lancer des projectiles de 13 à 15 po. de diamètre, avec une vitesse de 1500 à 1800 pieds par seconde, et que l'épaisseur du canon a été augmentée proportionnellement, pour résister à l'excès d'effort résultant à la fois de ce que la pression par pouces carrés a augmenté, en même temps que le nombre des pouces carrés sur lesquels elle agit, une autre loi qu'on n'a pas observée dans la pratique ordinaire prend une importance très-sérieuse. Le capitaine Blakely en a donné une explication très-claire que voici* :

279. « Il est impossible d'obtenir une force plus grande en coulant des canons plus lourds, parce que dans les canons de fonte (qu'ils soient coulés en fer, en bronze, ou en tout autre métal), l'extérieur n'aide que très-peu à résister à la force d'explosion de la poudre tendant à faire éclater le canon, l'effort ne lui étant pas communiqué par le métal interposé. La conséquence de ce fait est que, dans les gros canons, *l'intérieur est fendu tandis que l'extérieur subit à peine un effort*. La fonte augmente rapidement et le canon finit par éclater.

« On comprendra beaucoup plus facilement la

* « Méthode simple et à bon marché pour fabriquer les canons », 1858.

chose en considérant le cas d'un tube beaucoup plus élastique ; par exemple, un cylindre de caoutchouc ayant un diamètre interne de 10 po. et 10 po. d'épaisseur, par conséquent 30 po. de diamètre à l'extérieur. Un pareil cylindre pourrait être forcé par une pression interne jusqu'à ce que le côté intérieur s'étende au double de sa circonférence primitive. Par conséquent, le diamètre serait aussi doublé et porté à 20 po. au lieu de 10.

« A présent, il est évident que la circonférence extérieure et le diamètre ne peuvent être doublés en même temps, ou au moins ce dernier doit devenir égal à deux fois 30 ou 60 po., ce qui donnerait une épaisseur de 20 po. et une masse de matière quadruple, ce qui est impossible. Un moment de réflexion montre, que l'épaisseur doit diminuer à mesure que la circonférence augmente par une pression interne; car, si l'épaisseur reste de 10 po. quand le diamètre interne est devenu de 20, le diamètre externe devra être 20, plus deux fois 20 ou 40 po. Cela ne pourrait pas être à moins que nous n'imaginions ce qui paraît impossible, c'est-à-dire que le volume de la matière a considérablement augmenté, car chaque pouce de la longueur du cylindre contiendrait maintenant 1200 pouces

cylindriques (la différence entre les carrés de 40 et 20, les diamètres externes et internes), tandis qu'il contenait seulement 800 pouces à l'origine, la différence entre les carrés de 30 et 10.

« Cependant, même si l'épaisseur pouvait rester la même malgré l'augmentation de la circonférence, la couche externe ne pouvait être forcée que d'un tiers autant que la couche interne, parce qu'elle est trois fois aussi longue. Le même allongement qui aurait causé un effort d'une once ou d'une livre dans la circonférence la plus longue, causerait un effort de trois onces ou de trois livres dans la circonférence la plus courte, et l'allongement qui ne ferait qu'un effort modéré sur la première, briserait l'autre.

« Ce raisonnement est également applicable aux légères extensions du fer; l'augmentation de $^1/_{10}$ de pouce dans la circonférence extérieure d'un canon de 10 po. étant possible sans la fracturer, puisque c'est un allongement de 1 sur 940, tandis que la même extension ferait craquer l'intérieur, puisqu'aucun fer ne résisterait à un allongement de $^1/_{10}$ de pouce 31 $^1/_2$, ou 1 sur 314.

« On voit par là qu'alors le côté externe d'un tube épais ne peut pas faire sa part de travail; un

examen plus attentif, cependant, devra nous convaincre que c'est une estimation trop forte, car *l'épaisseur de la matière doit diminuer à mesure que la circonférence est augmentée*. Quand le diamètre interne d'un cylindre de 10 po. devient de 20 po., l'épaisseur doit diminuer de 10 à 7.32 pouces, la section transversale du cylindre restant la même. Cette section transversale était à l'origine de 800 po. 800 étant la différence entre le carré de 30 po., le diamètre extérieur, et celui de 10 po., le diamètre interne, ou 900 moins 100. Quand il est étendu, l'aire de la surface transversale doit continuer à être un anneau de 800 pouces. A présent, une épaisseur de 7.32 po. nous donne un diamètre externe de deux fois 7.32 ou 14.64 ajoutés à 20, le diamètre interne, en tout 34.64 pouces dont le carré est 1200. Retranchant 400, le carré de 20, reste un anneau de 800 po. comme devant. Dans ce cas, le côté externe du cylindre n'est étendu que de 4.64 à 30, environ 1 sur 7, quand le côté interne est étendu au double de sa grandeur originelle. Si le diamètre interne est seulement étendu à 11 pouces, l'épaisseur doit diminuer de 10 à 9.674 po., le diamètre externe devenant 30.348 po.; la section transversale restant un anneau de 800 po.

comme auparavant, la différence entre les carrés 30,348 et 11. Ici la couche externe est allongée de 0.348 sur 30 ou de 1 sur 86, tandis que la couche interne est étendue de 1 à 10, ce qui démontre un effort ou l'exercice d'une puissance 8 $^1/_2$ fois plus forte.

« Dans les minimes extensions des métaux la disproportion est encore plus frappante. Ainsi, dans le fer coulé, le diamètre interne de 10 po. peut devenir 10 $^1/_{100}$, ce qui étendrait le diamètre externe seulement de 30 à 30 $^1/_{300}$, la section transversale restant de 800 po. et l'épaisseur diminuant de 10 po. à 9 $^{299}/_{300}$. Ici le côté externe serait seulement augmenté de $^1/_{300}$ sur 30 ou de 1 sur 9000, le côté interne étant étendu de $^1/_{100}$ pour 10 ou de 1 sur 1000, exerçant alors neuf fois autant de puissance que le côté externe. *Il est évident qu'une légère augmentation de pression venant de l'intérieur briserait le côté interne, tandis que le côté externe ne serait qu'un faible auxiliaire pour s'opposer à la force de rupture.*

280. « Si nous faisons des marques circulaires équidistantes sur le bout d'un cylindre en caoutchouc (*fig.* 134) et que nous l'étendions, on peut voir parfaitement combien le côté interne supporte

un effort plus considérable que le côté extérieur ou même que les parties intermédiaires. L'intervalle des marques s'amincira, chaque intervalle devenant moins mince que celui qui est à l'intérieur, mais l'espace interne devient beaucoup plus mince que les autres (voir *fig.* 135), démontrant que quand le côté interne est forcé presque jusqu'à rompre, les parties intermédiaires font beaucoup moins de travail, et celles qui sont les plus éloignées n'en font presque aucun.

281. LOI DE LA FORCE DES CYLINDRES. « Dans le premier volume des *Transactions de l'Institut des ingénieurs civils*, page 133, il y a un article du professeur Peter Barlow, F. R. S., sur la force des cylindres. La loi qu'il en déduit est que, *dans les cylindres de métal, la puissance exercée par les différentes parties varie en raison inverse des carrés des distances des parties à l'axe.* Ainsi dans un canon de 10 po., quand le côté interne qui est à 5 po. de l'axe est complètement forcé, le métal qui est à 2 po. de la paroi interne ou à 7 po. de l'axe ne peut exercer une force que de $^{25}/_{49}$, ou un peu plus de la moitié; 3 po. plus loin, à 10 po. de l'axe, la force exercée diminue jusqu'à $^{25}/_{100}$ ou n'est qu'un quart de celle qui s'exerce par la paroi interne, et si le

canon a 10 po. d'épaisseur, le côté externe, qui est à 17 po. de l'axe, ne peut exercer un effort que de $^{25}/_{289}$ ou environ $^{1}/_{12}$ *de la puissance de celui de la paroi interne.* Par conséquent, en coulant le canon encore plus épais on n'ajouterait que très-peu à sa force; nous ne pouvons, par conséquent, nous étonner que l'on ait trouvé dans la pratique que les cylindres de la presse hydraulique, avec une épaisseur égale à la moitié du diamètre du piston, sont presque aussi forts que s'ils étaient dix fois aussi épais.

282. « En 1855, le docteur Hart, du collége de la Trinité, à Dublin, a cherché la solution du problème. Ses calculs (voir la note W, p. 259 de l'ouvrage de M. R. Mallet sur la construction de l'artillerie) donnent une plus grande force aux parties internes, mais une force encore plus faible aux parties externes que celles du professeur Barlow. Ces deux messieurs, aussi bien que le général Morin et le docteur Robinson, l'astronome, qui ont aussi étudié la question, tombent d'accord *qu'il n'y a pas d'épaisseur pouvant mettre un cylindre en état de supporter une pression interne par pouce carré, supérieure à la force de tension d'une barre de fer de métal par pouce carré;* en un mot, si la force de

tension du fer coulé est de six tonnes par pouce, un cylindre de ce métal, quelque épais qu'il soit, ne pourra supporter une pression intérieure de six tonnes par pouce. »

283. Le rapport des expériences faites par le gouvernement des États-Unis, pour faire éclater des cylindres creux par des pressions internes, constate que « la portée générale des résultats paraît venir à l'appui de l'hypothèse de M. Barlow*. »

284. Dans une expérience postérieure des faits précédents, le capitaine Brakely cite la fracture actuelle de quelques cylindres (*fig.* 136), faits par M. Longridge, avec son fer enveloppé de fils de fer. Les gerçures étaient « beaucoup plus ouvertes par le côté interne et quelques-unes ne s'étendaient pas jusqu'à l'extérieur. »

285. La loi de diminution dans la force de résistance est ainsi illustrée par le professeur Treadwell qui l'établit comme suit** : « Supposez qu'un cylindre soit composé d'un grand nombre d'anneaux ou de cercles minces, placés l'un dans l'autre, alors la résistance de ces cercles, comparés

* Rapports d'expériences sur le métal pour canons, 1856.

** « The praticability of constructing cannon of great calibre, etc. », 1856.

l'un avec l'autre, a une force qui tend à les détendre, sera en raison inverse des carrés de leur diamètre. Si nous faisons un cylindre de 41 cercles concentriques de la même épaisseur disposés l'un dans l'autre, et s'ajustant exactement de manière que les particules de chaque cercle soient en équilibre l'une avec l'autre, le diamètre du plus grand étant cinq fois celui du plus petit, alors la force de chacun pour résister à la détente, en commençant par le cercle interne, sera représentée par les nombres suivants :

1000.......	250.......	111.......	62
826.......	225.......	104.......	59
694.......	207.......	98.......	56
591.......	189.......	92.......	54
510.......	174.......	87.......	51
444.......	160.......	82.......	49
391.......	148.......	77.......	47
346.......	137.......	73.......	45
309.......	128.......	69.......	43
277.......	119.......	65.......	41
		....	40

On pense qu'en examinant attentivement ces nombres, on sera convaincu qu'il est impossible

d'accroître d'une manière essentielle la force du canon par un simple accroissement d'épaisseur. »

286. La faiblesse d'un cylindre homogène et le remède (qui sera considéré dans l'article suivant), ont été étudiés d'une manière mathématique et avec un grand soin par le docteur Hart du collége de la Trinité, à Dublin, et par M. C. H. Brooks. M. James Atkinson Longridge a illustré leurs calcals et en a fait le sujet d'un mémoire qui a été suivi d'une discussion importante devant l'Institution des ingénieurs civils.

M. Longridge dit : Si dans la figure 137, A B C D, représentent une portion de la section d'un canon de 8 p. dont A G B est la circonférence interne et D F C la circonférence externe, l'état de tension de toute particule comprise entre G A F peut être noté par des ordonnées tirées aux points en question, celles au-dessus de G F représentant la tension et celles au-dessous la pression.

Si maintenant le canon est fait d'une matière homogène, comme du fer coulé, l'état de la tension, au moment de l'explosion et quand le canon est sur le point d'éclater, sera indiqué par les courbes H I, ou H *i*, la première ayant été calculée d'après la formule du professeur Hart et la der-

nière d'après celle du professeur Barlow. Alors, supposant que la force de tension de la matière soit de 12 tonnes par pouce carré, et l'épaisseur du canon de 6 $^1/_2$ pouces, quand l'effort en G est G H ou 12 tonnes, en F il est F I = 3 tonnes, ou F *i* = 1 $^3/_4$ tonnes selon que l'on adopte l'une ou l'autre formule. Les surfaces de ces courbes donnent les forces totales du canon au point où il éclate, et on trouve qu'elles sont respectivement de 36. 72 tonnes et 30. 871 tonnes au lieu d'être de 78 tonnes, ce qui aurait eu lieu, si l'effort avait été uniforme à raison de 12 tonnes par pouce carré.

287. II. Cercles avec tension initiale pour résister à la pression élastique. — Ce système consiste à faire un canon avec des tubes concentriques, en mettant les couches de métal les unes après les autres et en commençant du centre à l'extérieur, de telle sorte que la tension initiale d'un cercle excède celle du cercle sous-jacent, ou en s'exprimant différemment, que chaque tube ou cercle comprime celui qu'il enveloppe immédiatement. Le lit interne est ainsi comprimé dans son état normal, tandis que le lit externe est à la tension la plus élevée. Alors, en vertu de la loi que l'on a illustrée dans le paragraphe précédent, la

couche interne étant comprimée, est en état de soutenir le premier et le plus grand effort, et la couche externe, quoique moins dilatée par l'explosion de la poudre, a déjà été étendue dans sa forte tension, et se trouve ainsi faire une somme égale de travail. Les couches intermédiaires ont les mêmes relations avec l'effort initial et l'effort de la poudre, en sorte qu'en résumé, toutes les couches contribuent également par leurs forces de tension à résister à l'effort d'explosion.

288. PLAN DU PROFESSEUR TREADWELL. — Le professeur Treadwell, qui a été un des premiers à proposer cette méthode pour construire les canons *, décrit ainsi le canon qu'il a proposé et la force dont il est susceptible **.

« Je propose de former un corps de canon contenant le calibre et la culasse en fer coulé comme on le fait aujourd'hui, mais avec des parois n'ayant qu'environ la moitié de l'épaisseur du diamètre de

* On donnera dans l'appendice les réclamations du professeur Treadwell, du capitaine Blakely, de M. Longridge et de plusieurs autres personnes relativement à la priorité de l'invention.

** Moyens pratiques pour construire des canons de fort calibre, décembre, 1856.

l'âmer; sur ce corps je place des anneaux ou cercles en fer forgé formant une, deux ou trois couches; chaque cercle est taillé en écrou ou en filet de vis sur son côté interne destiné à s'ajuster sur une vis qui lui correspond et qui a été façonnée auparavant sur le corps du canon, et ensuite sur chaque couche enveloppée par une autre couche. Ces cercles sont faits un peu plus petits sur leurs côtés intérieurs que les parties qu'ils enveloppent, c'est-à-dire $^1/_{1000}$ de leur diamètre. Ils sont alors dilatés par la chaleur, et étant tournés pour être mis en place, on les laisse refroidir de telle sorte qu'ils se contractent et compriment d'abord le corps du canon, et ensuite, chacune des couches que l'on superpose produit le même effet à l'égard de celles qui sont déjà placées. Cette compression doit être telle que, quand le canon est soumis à la force la plus grande, les corps du canon et des divers anneaux soient détendus en même temps au point de fracture, et qu'ainsi tous prennent une portion d'effort supérieur à celui auquel ils doivent résister.

« Il peut, à première vue, sembler qu'il existe une grande difficulté pratique pour faire des cercles ayant exactement la dimension requise pour produire la compression nécessaire. Cela serait

vrai si les cercles étaient faits en fer coulé ou en tout autre corps qui se fracture quand on l'étend de la plus petite quantité au-dessus de la limite de son élasticité. Mais le fer forgé et tous les corps malléables sont susceptibles de se fracturer sans s'étendre beaucoup au-delà de leur pouvoir élastique. Il peut par conséquent s'allonger beaucoup sans être affaibli. C'est pour cela que nous n'avons qu'à faire des cercles minces à l'excès, et ils s'accommoderont d'eux-mêmes sans la moindre avarie avec l'effort qu'ils ont à supporter. On trouvera néanmoins dans la pratique qu'il vaut mieux que la différence entre les diamètres des cercles et les parties qu'ils enveloppent soit beaucoup plus grande que la millième partie de leur diamètre. Il est absolument nécessaire de fixer les cercles à leur place par une vis ou quelque chose d'équivalent, non pas simplement pour renforcer le corps du canon contre une fracture en travers, mais pour les empêcher de bouger à chaque choc occasionné par le recul. Je sais par expérience qu'un filet de vis les fixera d'une manière efficace. Par conséquent, les tourillons doivent être fixés sur l'un des cercles et ce cercle doit être épissé, *splined*, pour l'empêcher de tourner au recul. Il faudrait aussi mettre de

petites épissoires sous chaque cercle. De plus il sera très-avantageux de faire les filets des vis sensiblement plus petits que ceux des écrous, afin que la contraction agisse en tirant les anneaux internes du dedans en dehors. ***

289. « Ces faits, ces principes, ces lois ainsi établis, je vais donner quelques calculs pour faire voir la force d'un canon construit de la manière que j'ai indiquée, en le comparant avec un canon fait de la manière ordinaire. Prenons un canon du calibre de 16 pouces qui portera un boulet sphérique massif de 374 livres, avec des parois épaisses de 14 pouces, faites de 7 pouces de fer coulé, et deux anneaux ou cercles en fer forgé de 3 $^1/_2$ pouces chacun. La couche externe du fer coulé ne possédera, d'après sa position, ainsi qu'on l'a expliqué plus haut, qu'un quart de la force de la couche interne, ou autrement, toute la force du fer, et la force moyenne de l'ensemble sera réduite de moitié. Prenant du fer coulé à 30,000 liv. par pouce de surface, nous avons $30,000 \times {}^1/_2 = 15,000$ livres par pouce. L'épaisseur des deux parois est de 14 pouces, et $15,000 \times 14 = 210,000$ livres pour la force de la fonte, à chaque pouce de sa longueur. Le premier cercle a sa force diminuée de 8 à 1, en

moyenne 0, 8. Prenons la force du fer forgé à 60,000 livres par pouce, et nous avons 60,000 × 0,8 = 48,000 livres par pouce. L'épaisseur des deux parois est de 7 pouces et 48,000 × 7 = 336,000 livres. L'anneau extérieur doit avoir sa force diminuée en vertu de la même règle, en moyenne de 1 à 0, 832, ce qui donne une force de 49,920 livres par pouce, et pour les 7 pouces 349,440 livres. Nous avons alors pour chaque pouce en longueur,

Corps en fer coulé du canon. . .	210,000 liv.
Cercle intérieur en fer forgé. . .	336,000
Cercle extérieur en fer forgé. . .	349,440
	895,440 liv.

Le diamètre de l'âme étant de 14 pouces, nous avons $\frac{895,440}{14} = 63,960$ livres comme résistance à opposer par pouce carré au fluide élastique de la poudre. Le canon supportera alors une pression de 4264 atmosphères.

« La résistance à la rupture transversale à la partie la plus rapprochée de la culasse sera, pour le fer coulé, $28^2 - 14^2 = 784 - 196$ pouces circulaires, et 30,000 × 460 = 13,800,000 livres, force totale. L'âme contient 153 pouces carrés, et

$\frac{13,800,000}{153} = 90,196$ livres pour résister à chaque pouce carré en plus de ce qui existe pour résister à la fracture dans le sens de la longueur. Et cet excès sera en outre renforcé par les anneaux en fer forgé qui, étant vissés sur la fonte, et la couche extérieure recouvrant le joint de la couche intérieure, ajoutera une grande somme de résistance qui, cependant, n'a pas besoin d'être estimée.

« Examinons maintenant un canon fait simplement en fonte avec les dimensions données ci-dessus, c'est-à-dire un canon ayant une âme de 7 po. et 7 p. d'épaisseur. Prenant la force normale de la fonte comme auparavant, à raison de 30,000 livres par pouce, nous devons la réduire du $^1/_3$ d'après les lois que nous avons expliquées précédemment (voir l'article 288), ou à une moyenne de 10,000 livres par pouce, et l'épaisseur des deux côtés étant de 28 po. nous avons $10,000 \times 28 = 280,000$ livres, pour la force totale, et $\frac{280000}{14} = 20,000$ livres par pouce de la pression du fluide élastique, ou 1333 atmosphères, ou $\frac{20000}{63960}$, ou moins de $^1/_3$ du premier exemple. Contre une rupture transversale, le canon de fonte possédera un grand excès de force, que je ne voudrais

pas appeler inutile, quoique je ne voie pas quel avantage essentiel il peut apporter dans la pratique ***.

« Les colonnes suivantes montrent les efforts que plusieurs espèces de canons, pareils à ceux dont il est question, supporteront par le calcul, et la pression requise pour donner une vitesse de 1600 pi. par seconde. La troisième colonne montre la proportion existante entre la force requise et la force actuelle.

	Atmosphères.		Atm.	
Les canons cerclés pour boulets de 14 po. supporteront.............	4266 ;	requis	2133	100 : 200
Le canon de fonte pour boulet de 14 po. supportera..............	1333 ;	»	2133	100 : 62
Le canon de fonte de 32 épais de 6 1/4 supportera....................	1333 ;	»	920	100 : 142
Le canon cerclé de 30 po. de diamètre avec boulet de 367 livres supportera	4266 ;	»	4266	100 : 100

« D'où l'on voit qu'un canon ordinaire de 32 en fonte n'ayant que 42 pour cent en plus de la force requise, offrira moins de garantie qu'un canon cerclé de 14 po. On rappellera que les nombres donnés ci-dessus dans la seconde colonne, comme exhibant la force requise, représentent la plus grande force qui ait jamais été produite par une

charge destinée à produire une vitesse de 1600 pi. par seconde. »

290. Autre utilité des cercles. — Le commander Scott de la marine royale, mentionne un autre service rendu par les cercles * : « Plusieurs expériences ont démontré les effets destructifs produits par un feu continu sur l'artillerie de fer coulé, comme aussi son accroissement de force après un long repos ; et en laissant deux ou trois mois, ou davantage, s'écouler entre les séries de décharges, on peut atteindre avec plus de sécurité un beaucoup plus grand nombre de salves que dans le cas où on se sert du même canon plusieurs jours de suite. A la page 218 de l'ouvrage sur les métaux utiles publié en 1857, on a établi que les pièces coulées quelques années avant d'être essayées, résistaient plusieurs fois à la quantité de coups qu'on pouvait tirer avec d'autres pièces fondues depuis quelques mois seulement. Les propriétés de la tension du métal n'expliquent pas cette différence, et la forme, les dimensions, le poids, la méthode pour couler et refroidir, et la manière de conduire les

* Journal de l'institution royale du Service-Uni, avril, [illegible].

les épreuves étaient les mêmes dans toutes les pièces essayées * * *. Tous les canons convenablement coulés sont suffisamment forts pour résister à un petit nombre de salves, de fortes charges; mais, dans l'usage, les particules de fer seraient dérangées, et alors elles ne reprendraient pas d'elles-mêmes leur arrimage à moins de leur donner une longue période de repos * *. L'objet auquel il faut arriver, parconséquent, consiste à prévenir le *dérangement des molécules* et la détérioration qui s'en suit pour la pièce, et c'est là l'effet produit par les cercles, quand le canon est tiré avec les charges auxquelles les cercles doivent résister d'après le calcul. »

291. Défaut du système des cercles. Remèdes. — Chaque cercle ou tube a en lui-même l'élément de faiblesse que l'on a considéré dans le chapitre précédent; sa circonférence interne est plus étendue et plus forcée que sa circonférence externe. Pour avoir des cercles parfaits il faudrait qu'ils fussent infiniment minces; et dans la pratique, plus les couches sont minces, plus elles sont fortes (313), pourvu que les difficultés mécaniques de la construction et plus particulièrement de l'application d'un grand nombre de couches min-

ces, avec la tension convenable, ne dépassent pas leurs avantages. Ce sujet a été illustré mathématiquement par M. Longridge dans le mémoire que nous avons cité auparavant. Depuis quelques années, M. Longridge a construit un nombre de canons et d'autres cylindres pour être soumis à la pression, en enroulant des fils d'acier carré sur des cylindres en métal homogène, les couches de fil de fer successives ayant un surcroît de tension initiale, et correspondant dans leurs fonctions à un grand nombre de cercles très-minces appliqués d'une manière semblable (93). Il compare le renfort en fil de fer avec les cercles épais employés par le capitaine Blakely et autres constructeurs dans deux détails, — la force actuelle pour une épaisseur donnée de métal, et le côté pratique de la construction *.

292. MANQUE DE CONTINUITÉ **. — « En premier lieu, alors, il y a une objection à l'usage des cercles par suite de leur manque de continuité. » (Ici suit une explication de la faiblesse d'un cylin-

* Les résultats des expériences de M. Longridge ont été donnés dans le chap. 1.

** « Construction de l'artillerie. » Instr. aux Ing. civils, 1860.

dre homogène que nous avons déjà donnée.) A présent, l'objet que l'on cherche à atteindre dans la méthode de construction que nous considérons est que chaque particule telle que K (fig 138) soit forcée autant que G quand une explosion aura lieu. Afin que cela puisse être ainsi, l'état initial de la tension doit être tel qu'il est représenté par la courbe L N M, les points entre G et N étant comprimés, tandis que ceux entre N et M sont étendus * * *. Ce qui a eu lieu quand l'explosion a eu lieu pourrait être ainsi décrit : L était élevé en M et chaque point depuis G jusqu'à F était élevé à la tension notée sur la ligne H O. La force totale était représentée par la surface L H O M N L, qui était égale au rectrangle G H O F. C'était le moyen d'avoir le canon le plus fort en théorie * * *.

«Si maintenant, on essaie d'obtenir ce résultat au moyen de cercles, on trouvera la chose impossible, d'autant plus que chaque cercle est un cylindre homogène et suit, à travers son épaisseur, la même loi représentée par la courbe H I. Les fig. 139, 140 et 141 représentent l'état successif de la tension de quatre anneaux mis sur le canon de telle façon, que quand l'explosion a lieu, ils seront également forcés à leur circonférence interne.

« Les figures indiquent les efforts en tonnes par pouce carré.

« On verra d'après cela que quand les quatre anneaux sont mis en place, au lieu de la courbe L N M de la fig. 138, il y a une série de changements abruptes, les deux anneaux internes étant en compression, et les deux externes en tension. Quand l'explosion a lieu, l'effet de l'effort maximum est représenté par le diagramme suivant, fig. 142. La surface entre les lignes ponctuées et les lignes pleines montre le travail opéré par l'explosion, et prenant l'épaisseur totale du canon, il s'élève à 10. 1 tonnes par pouce d'épaisseur, tandis que si la construction avait été faite avec des anneaux très-minces ou des fils de fer très-petits, il aurait été représenté par la surface entre les lignes ponctuées L N M O H (fig. 138), et on aurait vu qu'il est égal à 12 tonnes par pouce d'épaisseur, montrant une supériorité d'environ 20 pour cent en faveur du fil de fer sur les cercles. Cela, d'après la supposition que la main-d'œuvre des cercles est parfaite, ce qui ne peut s'obtenir dans la pratique.

293. Précision théorique de la tension. — M. Longridge discute alors le moyen pratique de

construire des canons cerclés, avec la précision nécessaire pour leur donner une force convenable. « Pour apporter une idée de la précision requise, les rayons des divers cercles présentés par le diagramme ci-dessus sont donnés dans le tableau XLVIII.

TABLEAU XLVIII. — **Rayons des anneaux pour cercler les canons.**

Nos de l'anneau.	Rayon intérieur.	Rayon extérieur.	Épaisseur de l'anneau.	Différences.
1	4.000	5.3222	1.3222	$R_1 - \rho_2 = 0.0031$
2	5.3191	7.2928	1.9737	$R_2 - \rho_3 = 0.0035$
3	7.2893	9.4633	2.1740	$R_3 - \rho_4 = 0.0035$
4	9.4598	11.8247	2.3649	

« Ainsi, on voit que pour donner la somme requise de compression initiale, il faut que le rayon externe du premier anneau soit de $^{31}/_{10,000}$ de po. ou environ $^{1}/_{300}$ de po. plus grand que le rayon intérieur du second anneau ; les rayons extérieurs du second et du troisième anneau doivent être plus grands de $^{35}/_{10,000}$ de po. que les rayons internes des anneaux qui les avoisinent. Par conséquent, tandis que tout l'effet repose sur une aussi petite quantité

qu'environ $^{1}/_{300}$ de pc, il est évident qu'une très-petite erreur dans la main-d'œuvre affectera matériellement le résultat et pourra donner une tendance aux déviations les plus sérieuses de l'effort initial qui convient. »

M. Longridge conclut que si l'anneau extérieur du canon (*fig.* 142) est fait $^{1}/_{500}$ de po. trop petit avant l'explosion, la compression maximum de l'anneau intérieur est augmentée de 10.086 à 11.244 tonnes et la tension maximum de l'anneau extérieur de 5.778 à 7.823 tonnes par pouces carrés; tandis qu'au moment de l'effort maximum durant l'explosion, la tension du même anneau est seulement de 2.266 tonnes, quoique l'anneau extérieur soit forcé jusqu'à 12 tonnes, son maximum de force présumé. La force absolue du canon est ainsi réduite d'une moyenne de 10.5 tonnes à 6.0 tonnes par pouce d'épaisseur, ou d'environ 40 pour 100, par une erreur de seulement $^{1}/_{500}$ de po. dans un anneau d'environ 17 po. de diamètre.

294. Cette extrême précision n'a pas d'importance pratique au jugement du capitaine Blakely de sir William Armstrong et autres fabricants de canons cerclés. C'est peut-être la raison pour laquelle leurs canons atteignent rarement la force

indiquée par la théorie. S'en rapportant à l'usage ordinaire du fer forgé sous l'effort, ainsi qu'à sa ductilité reconnue ou à sa propriété de recevoir un changement de forme permanent avec un effort donné, les praticiens déclarent qu'une pareille exactitude n'est qu'une absurdité. D'un autre côté, le manque d'attention pour obtenir une exactitude mathématique est la grande cause qui fait manquer les expériences et les constructions mécaniques. Les canons cerclés de M. Whitworth, qui est connu pour la « justesse » de sa main-d'œuvre et qui donne le plus grand soin et applique les procédés les plus délicats pour mettre les cercles en place, sont plus forts pour résister à la pression statique que les autres canons faits avec la même matière et sur des plans pareils.

298. Forge des cercles. — En supposant que cette exactitude mathématique dans la tension des couches d'un canon soit importante, M. Longridge s'abstient de prouver qu'elle est plus difficile à réaliser avec des cercles qu'avec du fil de fer. M. Whitworth force ses anneaux par la pression hydraulique. Le capitaine Blakely plaide aussi pour la même méthode. Quant à ce que dit M. Longridge : « Là se présente de nouveau la difficulté

pratique d'atteindre une extrême précision de main-d'œuvre, ce qui implique le degré le plus élevé d'habileté dans le travail, et la plus grande vigilance dans celui qui le surveille. » Au contraire, pour forcer un anneau légèrement conique sur un tube conique correspondant, on obvie à la nécessité d'une grande précision dans le diamètre de l'une ou l'autre pièce. La justesse du cône dépend de la correction du tour et peut être soustraite à l'intervention de l'ouvrier. La justesse des surfaces est aussi une question de bons outils. La tension de l'anneau dépend de la distance à laquelle il est forcé sur le tube conique, et elle peut être réglée à une livre près (*par le poids mis sur la soupape de sûreté de la presse hydraulique*). Avec les outils spécimen, qui sont une économie dans tout établissement considérable, comme une fabrique de canons du gouvernement, ou même avec les outils ordinaires des machines, modifiés et établis d'une manière permanente pour une fonction donnée, l'ouvrier le moins expérimenté manquerait difficilement à faire un bon travail (300).

L'ajustement fait par M. Longridge au frein de Prony, pour donner la tension convenable à chaque tour de fil de fer, est certainement simple et appro-

prié, mais il n'est pas automatique comme le mouvement de la soupape de sûreté d'une presse hydraulique.

296. CONTRACTION DES CERCLES. — *Contraction inégale du métal.* Si les cercles sont mis en place par contraction, il se présente deux difficultés. 1° Ainsi que dit M. Longridge : « Il faut que les cercles soient forés avec précision, et après la mise en place de chaque couche, le canon doit être placé sur le tour et les cercles tournés à l'extérieur. Une grande précision est indispensable dans la main-d'œuvre, et non-seulement la somme du travail est beaucoup plus grande, mais le travail doit être d'un genre beaucoup plus relevé et par conséquent beaucoup plus dispendieux. » 2° Il ne faut pas compter sur le procédé par contraction. Non-seulement il y a une difficulté pratique à s'assurer qu'on donne la température requise, mais il arrivera à peine à deux pièces de fer de se contracter d'une manière identique avec la même température. * »

* Le lieutenant-colonel Clay, des Œuvres en fer de la Mersey, traite spécialement de ce défaut (« Construction de l'artillerie. » Inst. pour les Ing. civils.). « Il savait que le fer et l'acier diffèrent beaucoup pour l'expansion et la contraction, et il pensait que ce serait le cas du fer en général, at-

L'ajustage des cercles avec la précision théorique nécessaire serait difficile; dans la pratique on n'y parviendrait pas. Mais la difficulté principale, même quand on ne cherche que peu de précision, provient de l'effet inégal de la chaleur. On peut considérer le sujet sous trois points de vue différents.

297. *Premièrement.* — En mettant les cercles sur le feu pour les étendre, il y a une portion plus exposée à la chaleur que l'autre portion; les températures de l'intérieur et de la surface sont différentes, ce qui occasionne des efforts irréguliers. On peut y remédier en faisant bouillir les cercles dans l'eau — sous une pression, si l'on a besoin d'une expansion plus grande que celle de la température de 212°; ou bien, on les peut faire bouillir dans l'huile à une température de 600°, jusqu'à ce que toutes les parties de tous les cercles soient échauffées uniformément. L'huile durcirait les cercles en même temps qu'elle les étendrait.

Deuxièmement. Les cercles Armstrong sont souvent chauffés au rouge, de sorte qu'ils s'écaillent librement quand on les expose à l'air. Il survient

tendu que la structure fibreuse ou en manière de cristal y est prédominante. »

une oxydation considérable même à la chaleur noire. Ainsi le diamètre intérne du cercle est augmenté et les écailles sont laissées entre quelques parties et non entre les autres, mais elles dérangent sensiblement la précision prescrite par la théorie (293).

Troisièmement. Le fer coulé et l'acier se dilatent d'une manière sensible et permanente en proportion du charbon qu'ils contiennent quand on les soumet à une grande chauffe.

La même cause contribue au peu de précision dénoncé par M. Longridge, même dans le cas où l'on emploie de l'acier inférieur pour faire les canons.

298. Une série récente d'expériences, sur le changement de figure des métaux par la chauffe et le refroidissement, est si remarquable dans ses résultats, que l'on peut attribuer à cette cause plusieurs des manquements des canons cerclés à une haute température. C'est ici le lieu de donner un extrait de ces expériences, car les cercles des canons Armstrong et autres inventeurs sont refroidis de manière à produire, en quelque sorte, les effets qu'on va décrire.

« SUR LES CHANGEMENTS DE FIGURE DU FER FORGÉ

ET D'AUTRES MÉTAUX, QUAND ILS SONT CHAUFFÉS, ET ENSUITE REFROIDIS PAR UNE IMMERSION PARTIELLE DANS L'EAU *. — Les expériences ont été faites sur des cylindres de fer forgé de différentes dimensions, soit creux, soit solides, immergés les uns au milieu de leur hauteur, les autres aux deux tiers, et aussi sur des cylindres pareils en fer coulé, en acier, en zinc, en étain, et métal pour canons. Les spécimen expérimentés étaient tous tournés avec soin sur le tour à la dimension voulue, que l'on notait exactement; ils étaient alors chauffés au rouge dans un fourneau à bois dont on se sert pour chauffer les cercles de roues. Aussitôt qu'ils avaient acquis la chaleur convenable, on les enlevait et on les immergeait dans l'eau à la moitié ou aux deux tiers de leur hauteur. La température de l'eau variait de 60 à 70° fahr. On laissait les spécimen rester dans l'eau environ deux minutes, temps qui suffisait pour faire perdre le rouge à la portion exposée à l'air, et rendre la partie placée dans l'eau assez froide pour la manier. Ces chauffes et ces refroidissements alternatifs étaient répétés jusqu'à ce que le métal montrât des signes de craquement ou qu'il allait se percer. »

La fig. 143 est une des illustrations données par

le lieutenant-colonel Clerk. Elle représente un cylindre en fer forgé de 12 po., de $^1/_2$ po. d'épaiss. et de 12 po. de haut., après avoir été chauffé au rouge et refroidi en immergeant la partie inférieure dans l'eau froide ; ces opérations ayant été répétées vingt fois. Le bord supérieur du cylindre (à l'air) ne fut pas altéré ; le bord inférieur, dans l'eau, se contracta de 0.6 de pouce dans la circonférence, et à environ 1 po. au-dessus de la ligne d'eau la circonférence était diminuée de 0.5 po.

Les effets généraux mentionnés dans le mémoire sont : « Une contraction maximum du métal environ 1 po. au-dessus de la ligne d'eau ; et il en est de même quand le métal est immergé à la moitié ou aux deux tiers de sa hauteur, ou quand il s'enfonce de 9, de 6 ou de 3 pouces. Avec du fer forgé, les chauffes et les refroidissements pouvaient se répéter de 15 à 20 fois avant que le métal ne montre aucun signe de séparation ; mais avec le fer coulé, après le cinquième essai, le métal était craqué et le cylindre creux séparé tout autour, juste sous la ligne d'eau, après la seconde chauffe. L'acier coulé résistait à 20 chauffes, mais il était très-craqué sur toute sa surface.

« Quant à ce qui regarde le changement de

forme du fer coulé et de l'acier, le résultat était semblable à celui du fer forgé, mais n'était pas près d'être aussi étendu. L'étain ne laissait voir aucun changement de forme, parce qu'il n'y a pas d'état intermédiaire en apparence entre le point de fusion et la solidité absolue. Le bronze, le métal à canon et le zinc ne faisaient voir qu'un petit effet, mais au lieu de se contracter juste au-dessus de la ligne d'eau, il y avait là une expansion ou un renflement.

Les échantillons de fer forgé ont été soumis à l'analyse chimique par M. Abel, chimiste du département de la guerre, et il m'informe qu'il n'a rien trouvé de digne d'être remarqué dans la composition du métal, et qu'il n'y avait aucune différence appréciable dans la gravité spécifique prise dans diverses parties de l'échantillon. Il paraît donc qu'il y a simplement un mouvement de particules quand le métal est dans un état de mollesse ou de demi-fluidité.

299. Manque de continuité de substance. — Pendant les deux dernières années, le grand défaut de plusieurs cercles — en plusieurs endroits — dans un canon s'est produit en fracturant et en déliant des cercles Armstrong, sous la terrible vibration qui résulte du tir des fortes charges (335). Ce

sujet sera traité un peu plus loin pour l'ordre de notre travail, et l'on constatera quelques faits au titre du fer forgé*.

Il n'est que juste de dire que le résultat avait été prédit dans la discussion sur l'artillerie déjà citée (1860). M. Longridge disait : « Les cercles doivent toujours avoir le défaut du manque de continuité de substance. Quelque parfaite que soit d'abord la main-d'œuvre dans les gros canons, la concussion d'un tir répété arriverait à les délier avant longtemps. Ceux qui ont eu à se servir de grosses machines sujettes à des chocs violents, telles que des meules de moulin ou des marteaux de forge, savent combien il est impossible de garder le fer contre fer, quelque bien ajusté qu'il soit, à travailler ensemble pendant longtemps sans le délier. Le seul remède consiste à séparer les pièces de fer l'une de l'autre, par l'introduction d'une matière

* Le rapport officiel des expériences de Southport, avec le canon Withworth de 80, dit que le canon était fait en métal homogène et renforcé dans toute sa longueur avec des anneaux en fer forgé, et que « nous avons observé à la fin de l'expérience une substance huileuse suintant aux joints des anneaux qui renforcent la volée du canon, et aussi sur l'avant de la pièce, à l'endroit où les cylindres extérieurs et intérieurs se rencontrent. »

élastique, de manière à faire disparaître le choc. A présent les chocs dans une machine pareille sont insignifiants, quand on les compare avec ceux d'une forte pièce d'artillerie, et par conséquent l'usage des cercles pour les gros canons ne saurait être satisfaisant. » Sir Charles Fox, dans la même discussion, considère que cette objection « détruirait tous les avantages d'un mode de construction aussi dispendieux, » si les parties séparées n'étaient pas réunies par la soudure. Le professeur Treadwell a, en quelque sorte, prévenu cet inconvénient en vissant les cercles ensemble. Le défaut — manque de force et de solidité dans l'union des différentes parties — est aussi mentionné par le capitaine Benton *.

500. Agrandissement permanent des cercles sous l'effort. — On a fait trop peu d'expériences avec des canons cerclés ayant une tension initiale, pour garantir la conclusion que la vibration ne délierait pas les cercles d'un métal très-élastique, quand ils ne seront pas forcés au-delà de la limite de leur élasticité. Encore le fait de délier par l'extension permanente d'un métal comme le fer forgé,

* « Artillerie et canonnage, » 1862.

paraîtrait être le commencement de cette espèce de fêlure. L'agrandissement permanent des cercles soumis à des efforts, détruit non-seulement la précision originelle de la tension en raison de son inégalité, mais il empêche actuellement qu'ils ne serrent le baril interne après un long usage. Sir Charles Fox, entre autres, a présenté cet aspect du cas en discussion devant l'Institution des ingénieurs civils. Le docteur Hart (286) exprime aussi la même opinion *.

On peut remédier à ce défaut dans le cas des anneaux coniques, que l'on peut essayer et mettre en place, s'il en est besoin, de temps en temps sans démonter le canon, par une presse hydraulique que l'on pourrait transporter d'un fort à un autre ou à bord des navires.

Pratiquement, une élasticité parfaite remédierait à ce défaut, et c'est une chose qu'on peut atteindre indubitablement par l'usage des anneaux d'acier, d'où l'usage de changer le fer pour l'acier. M. Whitworth et le capitaine Blakely emploient l'acier et regardent le fer forgé comme totalement inconvenant. En effet, un fabricant de canons compare les cercles de fer, à cet égard, à un cuir. L'excellent fer forgé dont se sert le capitaine Parrott pour les

cercles, est presque aussi élastique et aussi fort que le bas acier, en sorte qu'on n'a pas encore éprouvé dans ses canons la difficulté que nous examinons.

Un acier fin, élastique, est susceptible néanmoins d'éclater sans aucune espèce d'avertissement ; tandis que le fer doux forgé, particulièrement sous la forme de tubes concentriques, indiquera l'approche de la rupture en s'étendant et pourra manquer, par le fait, sans faire aucun dommage sérieux. Dans plusieurs cas, les cercles extérieurs des canons Armstrong se sont brisés sans diminuer dangereusement la résistance opposée par le canon avant de crever (445). Le premier canon de 10 $^1/_2$ a été tiré plusieurs fois après qu'un cercle extérieur eut éclaté avant la rupture du canon, et alors il manqua en faisant sauter sa culasse, après l'effort d'une charge de 90 livres.

301. Un fort tube en fer forgé, mis sans beaucoup de précision en dehors d'un cerclage d'acier, préviendrait, ou du moins modifierait le caractère désastreux d'une explosion, qui tue et démoralise les hommes, et désempare les machines du voisinage par les éclats qui volent. L'assertion de sir William Armstrong devant le Comité spécial d'artillerie (1863), qu'aucun des trois mille canons

qu'il a fabriqués n'a crevé *par explosion*, a de l'importance dans la circonstance actuelle. L'élasticité inférieure du fer forgé a occasionné beaucoup de manquements, mais sa grande ductilité a empêché plusieurs désastres. On peut dans la pratique réaliser les avantages de ces deux qualités, en cerclant sans serrage un canon d'acier avec du fer. La masse des cercles mis en plus serait utile ultérieurement pour arrêter la vibration du baril.

502. Le degré d'élasticité relative de chacun des tubes, eu égard à leur distance du centre du canon, a une portée essentielle sur la durée du canon. Supposons que le tube intérieur ait peu d'élasticité et le tube extérieur beaucoup, le métal interne que la pression de la poudre oblige à se dilater le plus (280) ne peut que s'étendre le moins, et le tube extérieur qui doit s'étendre le moins peut s'allonger sans avarie bien au-delà de ce qu'on lui demande. Le résultat est que le tube extérieur doit être mis et maintenu sous une tension initiale à peu près supérieure à sa charge de travail, afin que « le travail fait » par son petit allongement puisse être égal à celui du tube intérieur. Cet effort sévère et permanent sur le tube extérieur tend à propos à le relâcher; d'un autre côté, si le tube

interne peut beaucoup s'étendre sans avarie, et que le tube externe ne puisse que se dilater un peu, l'effort initial et permanent sur toutes les parties du canon, afin qu'il soit uniformément forcé pendant le tir, sera très-léger et la tendance au relâchement très-limitée (59).

Le fer coulé, cerclé avec du fer forgé, ou avec du bas-acier qui ait un grand degré d'élasticité, est donc susceptible de perdre sa tension initiale régulière (91). Les tubes internes en acier fondu, coulé avec le fer forgé, — les nouveaux canons Armstrong, — ont le même défaut.

303. Mais si un tube de fer forgé ou d'acier est placé dans un étui de fer coulé, et qu'alors on le force au-delà de la limite de son élasticité, ou, en d'autres termes, s'il est tendu d'une manière permanente, ce changement de figure renforcera le canon plutôt qu'il ne l'affaiblira, parce qu'il mettra le moule externe dans un état de tension initiale. Ce principe de construction sera étudié plus loin (320).

304. FORCE LONGITUDINALE. — L'effort longitudinal qui serait imposé au canon par la pression statique, s'exercerait entre les tourillons et la chambre, puisque, comme la pression intérieure

tendrait à porter le boulet sur l'avant et la chambre sur l'arrière, la chambre serait empêchée d'aller sur l'arrière, seulement par la tension de cette partie du tube qui la lie aux tourillons. Si les tourillons étaient derrière la chambre, et si la culasse résistait au recul, l'effort longitudinal serait dû seulement : 1. A la tendance du boulet pour emporter en avant par le frottement la partie du canon qui est en contact avec lui ; 2. A l'inertie de la partie du canon en avant du boulet. Sous la pression instantanée de la poudre, cette inertie impose naturellement un effort considérable.

La résistance théorique d'un cylindre pour résister à la fracture sous la pression interne est quatre fois aussi grande que la résistance à se fendre longitudinalement, si la ténacité du métal est la même dans toutes les directions, et si la résistance du cylindre pour crever n'est pas aidée par la force des bouts ou des têtes du cylindre.

305. La faiblesse longitudinale peut être modifiée à propos en plaçant les tourillons sur l'arrière au prix de quelques complications dans l'affût et la machine qui doit pointer le canon en hauteur. Mais on atteint le même résultat sans cette complication — sans troubler la prépondérance usuelle et

convenable — par une bride qui joint la culasse avec un anneau de tourillons séparés. L'amiral Dahlgren a appliqué une bride de culasse de cette espèce, très-forte et très-bon marché, à tous les canons rayés en fer coulé de la marine des États-Unis, sauf les canons Parrott. Elle est faite en bronze et coulée en deux morceaux. Un morceau forme la bride, la moitié de l'anneau à tourillons, et la plus grande partie des tourillons; l'autre forme le milieu opposé de l'anneau des tourillons et le reste des tourillons. Les deux parties sont rivées ensemble aux tourillons, comme on le voit dans les *fig.* 144 et 145.

Cette bride de culasse était destinée à remédier à un autre défaut des canons de fer coulé qui est encore plus grand que leur faiblesse longitudinale — le vice de la fonte autour des tourillons (390).

M. C. W. Siemens propose la construction suivante, qui ressemble en principe à celle du professeur Treadwell (288), pour obvier à ces défauts. La force longitudinale du canon pourrait être très-augmentée si, au lieu de tourner sur lui le fil de fer, il était attaché avec des bandes d'acier pleines de rides, mises en spirale sur lui. Il estimait que les deux tiers de la force de tension de ces bandes

seraient ainsi rendus profitables pour la force longitudinale. Il proposa de tourner le noyau du canon avec des rayures en spirale s'étendant au-delà de l'arrière de l'âme, et d'ajuster les côtes longitudinales ou le ridage des bandes. Les bandes devaient être mises en place sous une tension variable, pendant que le canon opérait sa révolution dans un bain de soudure, afin d'unir entre elles les diverses couches. »

306. La force longitudinale du canon cerclé de M. Witworth (*fig.* 146) est agrandie et rendue plus grande que celle qu'il est possible de donner à un tube tourné en fil de fer, et que celle d'un tube cerclé par des cylindres pleins, en vissant le tampon de culasse non-seulement dans le tube central, mais encore dans un ou plusieurs cercles (44), qui, étant coniques, doivent éclater, ou, du moins, s'étendre avant d'être tirés sur l'arrière.

307. Le capitaine Blakely dit à ce sujet : * « Il faut prendre soin d'avoir une force longitudinale suffisante. Dans ce but, on peut faire le sacrifice d'une certaine force sur la circonférence, en coulant une partie de la longueur du canon en entier

* Méthode simple et à bon marché pour fabriquer les plus forts canons, 1858.

et d'une épaisseur proportionnée. Il semble préférable, pour plusieurs raisons, que cette grande pièce unique soit la pièce intérieure, le fer coulé étant admirablement approprié pour l'âme du canon, attendu que le fer forgé a généralement dans sa soudure quelque défaut où pénétrerait certainement le gaz de la poudre. Dans quelques cas, par exemple, dans les canons se chargeant par la culasse, il peut cependant être préférable d'avoir la force longitudinale à l'extérieur. La dernière construction a l'avantage de donner une force plus grande sur la circonférence ; car, (quoique la chose puisse paraître étrange) un canon coulé ordinaire, soit en fer ou en bronze, serait renforcé à la culasse en enlevant un quart de son épaisseur intérieure, et en remplaçant le métal par du plomb ou de l'étain. La raison de cet accroissement de force, paradoxale en apparence, est que chaque portion qui reste pouvait faire plus de travail sans qu'aucune partie soit mise à l'œuvre dans la proportion de 3^2 à 2^2 ou de 9 à 4, quand la partie interne qui doit céder la première est plus grande dans le rapport de 3 à 2, comme à présent. Le gain de puissance, en permettant ainsi à l'intérieur d'exercer une plus grande partie de sa force, est supérieur à la perte

qui résulte d'enlever les parties internes, qui doivent avoir craqué avant que les parties extérieures aient été forcées modérément. Une bande de bronze dans le voisinage de la culasse du canon ajouterait évidemment beaucoup à la force. Ce serait aussi un moyen convenable de renforcer les matières déjà coulées. »

366. Dans son mémoire sur les tubes à élasticité variable (324), M. Parson a écrit : « Dans les canons du système composé, faits de fer coulé, avec la culasse et le renfort tournés, et des cercles de fer forgé ou d'acier contractés ou forcés sur le corps du canon, on doit arriver à l'un de ces deux résultats, savoir : Ou le fer coulé doit être tourné à l'intérieur à une dimension qui rendrait le canon trop faible dans le sens de sa longueur, afin de lui permettre d'être comprimé suffisamment pour obtenir quelque force transversale additionnelle de la part des cercles ; ou bien, si l'on a conservé assez de fer coulé pour donner la force longitudinale nécessaire, tous les anneaux en fer forgé qui peuvent être mis sur l'extérieur n'ajouteront que peu de chose à la force transversale ; car, à moins que le fer coulé ne soit considérablement comprimé, les anneaux de fer forgé ne prendront pas de jeu avant que l'inté-

rieur ne soit forcé ou rompu : d'après la loi bien connue que la somme de dilatation du métal laminé à l'intérieur est à sa dilatation extérieure en raison inverse des carrés de leurs diamètres respectifs, et quand on se rappelle que le renfort, quoique tourné à plus petits pas en bas pour recevoir les anneaux, est soulagé par la partie massive de la culasse à une de ses extrémités, et qu'une partie du renfort reste à sa dimension originelle à l'autre extrémité, il est aisé de comprendre que les anneaux en fer forgé feraient bien peu d'effet en comprimant le fer coulé, si on les laissait d'une grandeur suffisante pour donner la force longitudinale nécessaire ; cependant la meilleure preuve de l'erreur de ce système serait trouvée dans le nombre de canons éclatés enveloppant ce principe dans une variété de formes presque sans fin, que l'on peut voir gisants à l'arsenal de Woolwich. »

309. M. Lancaster, dont le nom est bien connu par le canon Lancaster, donne quelques expériences importantes qui ont trait à la faiblesse longitudinale des canons de fer coulé, comme on les cercle à Woolwich, et un projet pour remédier à ce défaut. Il faut remarquer cependant que quelques-uns au moins des canons dont il est question

avaient été tournés très-petits avant d'y appliquer les cercles. Le commander Scott dit d'eux * : « Cependant, au lieu de cercler l'artillerie existante d'après un plan qu'on a trouvé bon, on a appliqué un nouvel engin patenté qui était épais à l'avant des tourillons et très-mince à la culasse. Mais comme le cercle *aa* (*fig.* 147) n'unissait pas le fer coulé aux bandes de fer forgé, les armes avaient si peu de force longitudinale, et étaient si faibles à *bb* où l'épaisseur du fer coulé était tout à coup réduite à deux ou trois pouces, qu'on trouva que les canons n'offraient pas de sécurité. M. Lancaster ** dit : « *** De temps en temps, on a fait des expériences à Woolwich, et je pense que, dans le cours des expériences, on a dépensé quelques 10,000 livres sterling au trésor public, pour voir s'il était possible de renforcer un canon de fer coulé ***. Si on laisse le bout du canon dans son état normal, et qu'on compte simplement sur la force de tension de tant de pouces de fonte, il est sans utilité de renforcer le canon dans sa périphérie, et ce canon éclatera aussi près que possible du moment même où il aurait éclaté s'il avait été totalement en fer

* Journal royal United Service institution, april, 1862.

* Journal de l'institution royale du Service-Uni, juin, 1862.

coulé. Tel fut le résultat de ces expériences, à un point tel que, à la butte d'épreuve de l'arsenal de Woolwich, les canons éclataient après 51 coups d'épreuves ***.

« On prépare un canon dans lequel le bout de l'arrière était tourné sur un pouce et demi de son quart postérieur et on avait ajusté sur lui un tuteur longitudinal, enveloppant de cette manière les bouts de un pouce et demi et embrassant complètement le canon, les cercles de fer forgé étant alors contractés sur le canon par-dessus le tuteur longitudinal. Cette expérience donna un résultat très-remarquable. Le canon s'éleva immédiatement sur l'échelle de la force, sous la même condition de 10 livres de poudre, commençant par un projectile de 32 livres et augmentant d'un projectile tous les dix coups. Il tira 81 coups au lieu de 51. » M. Lancaster propose en conséquence l'enveloppe en fer forgé (*fig.* 148) soutenant tout l'arrière du canon. La fig. 149 illustre un autre plan de cerclage breveté, par M. Lancaster et destiné à donner une grande force longitudinale. Dans quelques-uns de ses derniers canons le capitaine Blakely se sert aussi d'une jaquette semblable à celle de la fig. 148.

510. Si on pouvait avoir de la force pour une pareille enveloppe à un prix raisonnable et la mettre en place hermétiquement, on aurait ainsi surmonté la difficulté de la faiblesse longitudinale et on se serait procuré l'autre avantage — la résistance à l'éclatement — d'un long cercle. On fond déjà l'acier solidement dans cette forme. MM. Naylor, Wicker et Cie coulent des tubes à bouts fermés assez solides peut être employés en presses hydrauliques sans les marteler. La compagnie Bochum (Prusse) a fondu des cloches pesant 20,000 livres, en acier ressemblant à celui de Krupp, fait de la même matière et en employant en substance le même procédé. — D'où les meilleures matières pour canons. Ces fontes peuvent être ensuite comprimées en les roulant, et si on les a coulées solides, en les forgeant. Mais il serait impraticable de tourner et forer les parties avec assez de soin pour assurer la tension convenable, s'ils étaient amincis en cône par la presse hydraulique. Le contact du bout du tube avec le fond de l'étui empêcherait tout ajustement de la tension. Si la chambre était contractée dessus, elle serait exposée à être contractée inégalement en raison de la différence de la masse aux deux bouts. Mais elle

serait tirée très-hermétiquement sur le bout du tube en se contractant sur la longueur, si elle était d'abord refroidie au bout des tourillons de manière à pincer le tube en cet endroit. Cette méthode a été pratiquée à Woolwich, en contractant ensemble quelques-uns des canons d'expérience les plus nouveaux.

311. Le canon Parrott n'est pas affaibli dans le sens longitudinal, comme le canon de M. Lancaster dont il vient d'être question, parce que le diamètre du cercle entier de la culasse de fer coulé est conservé. L'augmentation de diamètre du cercle exige certaines modifications dans l'affût. Mais ce n'est pas une objection sérieuse. Voir la note dans l'appendice.

La force longitudinale du canon Armstrong est garantie :

1. En faisant la pièce de culasse d'une forge épaisse et solide avec un grain longitudinal (9). 2. En entaillant l'anneau des tourillons (*fig.* 15) sur les tubes qui sont en dedans. Et 3. en flanquant l'anneau extérieur sur l'arrière de la pièce de culasse. (Voir *fig.* 25.)

312. LONGUEUR DES CERCLES. — Des cercles d'une longueur considérable sont désirables afin d'ajouter

à la surface de frottement, ce qui donne au canon sa force longitudinale; mais la longueur en continuité est surtout désirable pour transférer l'effort sur un point à une grande surface de résistance. Plusieurs canons renforcés comme on le voit dans la fig. 151 ont éclaté à Woolwich. La fracture s'est faite dans la ligne directe du joint entre les cercles. Le long tube (*fig.* 152), fait d'une glène comme les cercles de canons Parrott et Armstrong, est pour cette raison proposé par le commander Scott pour renforcer les anciens canons, au lieu des cercles courts que l'on employait dans la première artillerie Blakely, cercles qui n'opposent à l'effort à un point donné que la simple force de leur section sans aide de la part du reste *.

313. Un désavantage évident d'un grand nombre de cercles c'est que la face transversale (277) du canon est diminuée. La résistance des morceaux d'un canon à la pression est comme celle des poutres, comme le carré de leur épaisseur, et leur rigidité comme le cube de leur hauteur.

* Il sera question plus loin des canons cerclés en même temps que des efforts imposés par une expansion inégale due à la chaleur du feu.

514. Tubes garnis en fil de métal. — Il a déjà été question du plan de M. Langridge pour tourner des fils carrés en acier avec une tension convenable sur un tube (93). Le mode de fabrication consistait « à enrouler une certaine quantité de fil de métal sur un tambour ayant son axe fixé parallèlement à celui d'un tour sur lequel le canon était placé. Il y avait sur l'axe de ce tambour un autre tambour auquel était appliqué un frein, semblable en principe au frein du dynamomètre de Prony, ajusté de telle sorte qu'il donnait la tension exacte requise pour chaque tour successif du fil de métal. Tout l'appareil était extrêmement simple et tout le fil de métal était couché sur le canon avec une grande régularité. Il est évident en effet que cet appareil pouvait être arrangé de telle sorte que l'ouvrage marchait aussi facilement et aussi régulièrement que pour enrouler un fil sur une bobine et en même temps avec le plus grand soin pour ce qui regarde la tension initiale. »

515. Alors le premier avantage du fil de fer consiste à pouvoir être mis en place à bon marché avec l'effort exact requis par la théorie. Il y a un autre avantage en ce qu'il y a moins de matière dé-

pensée mal à propos par suite de défaut de continuité (292). La force supérieure de la matière est un autre avantage. Une pièce de fer en barre qui supporterait une force de tension de 20 tonnes par pouce carré, supportera 40 tonnes par pouce carré quand elle est faite en petit fil carré de métal; et un fil carré d'acier a porté de 120 à 130 tonnes, par pouce carré. M. Bramvell a constaté que dans la jauge-musique n° 22, la force du fil d'acier s'est élevée jusqu'à 142 tonnes (318,088 livres) par pouce carré. *

316. Quoique partisan des cercles, le capitaine Blakely reconnaît les avantages du fil carré métallique et dans la discussion dont il s'agit, il est tombé complètement d'accord qu'on pouvait obtenir une plus grande force par l'usage du fil carré de métal que de toute autre façon. En effet, si on avait besoin d'un canon monstre — des mortiers pour lancer des obus pesant plusieurs tonnes, à une distance de plusieurs milles par exemple — il faudrait avoir recours au fil carré de métal. Il pensait qu'on pourrait faire de pa-

* « Construction de l'artillerie. » Instr. pour les Ing. civils ([illegible]).

reils canons par ce système; mais il doutait qu'on pût les fabriquer de toute autre façon.

317. Le premier grand défaut du fil métallique est le manque de force longitudinale. On peut y suppléer par le tube interne ou par une addition de quelque matière à l'intérieur; on ne peut pas comme dans le cas des cercles compter sur la matière qui renforce le baril. Quand on considère que la culasse du canon Amstrong de 10 $^1/_2$ po. (146) a sauté sous un effort où l'on n'avait en vue que l'usage ordinaire, séparant et projetant dans la direction de la fibre un tube de fer forgé de 28 po. de diamètre avec des parois de près de 6 po. d'épaisseur, la nécessité d'éviter la faiblesse longitudinale devient évidente. M. Longridge propose de fournir cette force par une matière que l'on appliquerait d'une manière convenable à l'intérieur du canon. En effet, il considère ce plan comme le meilleur pour les canons déjà construits.

318. Le second défaut du fil métallique est l'incertitude qu'on puisse l'attacher de telle façon qu'il ne puisse se dérouler *. Cette difficulté devient sérieuse si le canon est frappé par un boulet ennemi et disloqué ou brisé à divers endroits. Pour éviter cela, un canon exposé doit être muni d'un

fort justaucorps qui ajoute à sa force tout ce qui serait sauvé par la force supérieure et la tension plus précise du fil métallique. Dans les canons d'expérience, M. Longridge a attaché son fil métallique avec de la soudure, et a assujetti les bouts en les plaçant dans un trou ménagé dans la coulée.

312. Si l'inaptitude du canon Armstrong pour résister à l'effet destructif de la vibration est due surtout au grand nombre de couches de cercles superposés — à son défaut d'homogénéité — sans avoir égard au peu d'élasticité du fer forgé dont il est fait, alors le canon à fil enroulé est certain de ne pas avoir cette cause d'insuccès. Mais autant qu'une grande force élastique peut remédier à ce défaut, un fil d'acier est évidemment la meilleure matière. La pratique est encore trop limitée pour garantir des conclusions positives à ce sujet. Les canons d'expérience en fil métallique déjà décrits (96-102), n'ont pas montré aucune faiblesse remarquable dans cette direction; mais ils étaient de très-petits canons.

Nous examinerons au titre du fer coulé une méthode pour mettre en place les couches laminées d'un canon massif sous la tension initiale convenable, et qui a été réalisée dans une certaine éten-

due par le capitaine Rodman dans ses canons en fonte creuse.

320. III. Cercles à élasticité variable. — Supposons maintenant que les cercles ou tubes composant un canon soient ajustés ensemble avec soin, mais sans tension. Si le cercle intérieur est très-élastique et le suivant un peu moins, et ainsi de suite en diminuant de manière que le cercle extérieur soit le moins élastique, et que le degré d'élasticité soit exactement proportionné au degré d'allongement par la pression interne, tous les cercles seront également forcés par la poudre, et rien de leur force ne sera dépensé mal à propos. Supposons que le cercle intérieur soit étendu de $^1/_{10}$ de po. par la pression et le cercle extérieur de $^1/_{100}$ de po. (280), la matière du cercle intérieur devrait avoir assez d'élasticité pour n'être pas plus près de son point de rupture quand il est forcé de $^1/_{10}$ de po., que le cercle extérieur moins élastique quand il est étendu de $^1/_{100}$ de po. Les deux cercles devraient être également forcés par la poudre et lui opposer une résistance égale.

Il faut rendre claire la distinction qui existe entre une élasticité qui augmente régulièrement comme on vient de la décrire, et une élasticité uni-

forme. Supposons que deux cercles soient capables de s'étendre avec sécurité de $^1/_{10}$ de po., le cercle extérieur dans la pratique actuelle n'est étendu que de $^1/_{100}$ de po., d'où il n'apporte en action que le $^1/_{10}$ de sa force quand le cercle intérieur est étendu à sa limite de sûreté. Si l'élasticité augmente régulièrement du centre à l'extérieur, le cercle extérieur est encore moins étendu, quand le cercle intérieur est à point pour éclater.

521. Il n'y a, quant à présent, aucune matière particulière ayant les degrés relatifs d'élasticité nécessaires pour mettre ce principe en parfaite évidence. Mais si le tube intérieur d'un canon était fait en acier très-élastique et le tube extérieur en fer coulé, l'effort relatif et la dilatation seraient approximativement réguliers et un petit poids d'acier dans l'intérieur du fer coulé serait beaucoup mieux employé qu'un plus grand poids mis en dehors. Dans le premier cas, la chaleur de la poudre en brûlant compenserait ce qui manque d'élasticité au fer, en étendant l'acier et en mettant ainsi le fer coulé en tension, réalisant ainsi, dans une certaine étendue, les avantages des cercles avec tension initiale. Dans l'autre cas, la chaleur étendrait le renfort d'acier au delà de la tension con-

venable (celle sous laquelle il a été ajusté), et forcerait inégalement le baril épais de fer coulé, en dilatant ses couches intérieures.

322. Dans le cas d'une doublure en acier, les tourillons pourraient être coulés avec le renfort, et l'épaisseur totale du canon pouvant être adaptée à l'effort sur tous les points sans angles rentrants, en conservant approximativement la coupe Dahlgren. Dans l'autre cas, les tourillons devraient être forgés sur un anneau séparé (si le renfort était long, comme aiment à le faire les fabricants de canons en Angleterre), et assurés à un prix considérable, et l'extérieur du canon serait une série d'angles aigus et de courbes courtes.

Le doublure d'acier pourrait être appliquée aux vieux canons sans changer leur ordonnance*. En

* Une pareille doublure dans un canon est susceptible de l'empêcher d'éclater *par explosion* — et de lancer des fragments de fer coulé ou de son écaille d'acier. Le capitaine Palliser constate qu'il a fait éclater le canon de fonte à l'extérieur, sans faire éclater le tube de fer forgé qui était à l'intérieur (en raison de sa plus grande ductilité) et que les pièces de fer coulé n'ont pas sauté.

Il a été proposé dernièrement par M. J.-K. Fisher de New-York, d'assurer la différence nécessaire dans le degré d'élasticité, en durcissant à l'huile la partie intérieure d'un

appliquant un renfort d'acier à un vieux canon on augmenterait sa prépondérance à un degré inconvenant ou impraticable, ou au moins il lui faudrait de nouveaux tourillons, ce qui nécessiterait des changements dans son affût **.

canon d'acier massif, ou en trempant autrement un canon massif, de sorte que les degrés d'élasticité dans les différentes couches soient proportionnés à l'allongement requis.

** L'auteur juge à propos d'informer que ce qui précède était écrit avant la publication de la patente du capitaine William Palliser pour ce perfectionnement, datée du 11 novembre 1862, et celle de M. Parson, datée du 5 juin 1862, brevet où M. Parson décrivait une structure par laquelle il propose maintenant d'introduire ce perfectionnement, mais où il ne spécifie pas le principe de l'élasticité variable.

D'après des recherches ultérieures, il semble que : 1. les premiers canons du capitaine Palliser coulés sur des tubes en fer forgé remontent au mois de septembre 1854. Dans une lettre au *Times*, écrite le 1er octobre 1863, il dit : Ayant été engagé, pendant les années 1853 et 1854, dans des expériences sur les boulets allongés destinés aux canons à âme lisse, je trouvai bientôt qu'il était dangereux de tirer des projectiles aussi lourds avec des canons en fonte de fer en employant la charge entière du service, et il arriva ainsi que, dès cette époque, mon attention fut appelée à rechercher le moyen d'augmenter la force des canons. J'avais, quelque temps auparavant, été témoin de la fabrique des fers forgés à double tube de la forge de MM. Truelock et Harris, fabricants de canons à Dublin, et en même temps je fus informé de la grande force qui était acquise par ce mode de

323. En 1860, on fora l'âme d'un canon de 68 (*fig.* 153), à Woolwich, et on contracta à l'inté·

fabrication. Je commençai mes premières expériences en septembre 1834, en coulant quelques petits canons de fonte sur des tubes de fer forgé construits d'une manière semblable. Je trouvai que les canons faits de cette façon étaient énormément forts, et, en fait, qu'on ne pouvait les faire éclater par les moyens ordinaires. Après avoir terminé ces expériences, je construisis un canon modèle que j'ai encore en ma possession, et qui fut terminé le 10 novembre 1834, comme on le verra par la lettre ci-jointe :

« 15. Gate street, Lincoln's Inn-Fields, 23 septembre.

« *Monsieur*, En consultant nos livres, nous avons trouvé que nous avons fini de tourner pour vous un modèle de canon le 10 novembre 1834 ; le canon était en fer coulé sur un tube interne de fer forgé.

« Nous sommes, Monsieur, en toute honnêteté,

« CLARK et Ce, Ingénieurs.

« Au capitaine Palliser. »

Maintenant, ce modèle a été terminé avant de prendre aucun brevet pour renforcer ou construire les canons d'après une méthode ayant la moindre analogie avec celle-ci.

Encore, quoique la coulée d'un canon sur un tube de fer forgé implique le principe de l'élasticité variable, il y a aussi des difficultés et des obstacles mécaniques qui n'ont pas été mis en pratique, même par le capitaine Palliser.

2. Il paraît qu'ensuite le capitaine Blakely a proposé non pas complètement, mais assez distinctement, de renforcer les

rieur un tube de fer forgé. La durée — 71 coups avec charges croissantes — fut très-satisfaisante,

canons par des tubes internes en matière plus élastique, dans un Mémoire intitulé : « *Quelques remarques sur la science du canonnage* », publié en 1857. Après avoir proposé de construire les canons sur la théorie d'une tension initiale définie, comme on l'a déjà expliqué, et avoir indiqué plusieurs moyens de le faire, le capitaine Blakely dit « *ou bien, on peut mettre un métal plus élastique dans un métal moins élastique, sans aucune ou avec très-peu de tension initiale.* »

3. Le capitaine Blakely indique aussi très-complétement le perfectionnement dans une addition datée du 4 avril 1860 à son brevet français du 28 juin 1855.

4. En janvier 1863, le capitaine Palliser mit en circulation parmi ses amis, un Mémoire avec dessins explicatifs très-détaillés, sur le principe et le moyen de l'appliquer. Un canon de fer coulé de 68 (332) a été depuis renforcé d'après ce plan à Woolwick et essayé avec un grand succès.

5. Dans l'automne de 1863, M. Parsons a publié un Mémoire illustré ayant pour titre : *Canons contre plaques de blindage* (Guns *versus* armor plates), expliquant le principe et son plan pour l'appliquer au service (patenté avant celui du capitaine Palliser).

Les trois publications qu'on vient de nommer seront citées plus loin à l'occasion.

On n'a pas l'intention de donner les faits précédents comme toute l'histoire de l'invention. C'est au capitaine Palliser qu'on doit en grande partie d'avoir obtenu un essai officiel, et d'avoir réussi à renforcer la vieille artillerie de fonte de fer.

démontrant que le fer coulé était nécessairement déjeté et forcé par la chaleur du tir. En 1862, un canon de 32 fut traité de la même façon, et résista 74 coups avec des charges croissantes. Les détails de l'expérience sont donnés dans le tableau XIII.

324. MÉTHODE DE M. PARSONS. — Le principe de l'élasticité variable est ainsi posé par M. Par-

Les arrangements de métaux qui suivent sont décrits dans « Ordnance and naval gunnery de Simpson, 1862 : M. J.-C. Babcock suggère un autre moyen d'arranger le métal pour cercles en spirales que l'on enroule autour du noyau de fer coulé, en se fondant sur la différence des propriétés de dilatation des métaux. Il recommande de faire le noyau en fer coulé; on contracte dessus une couche d'anneaux de fer forgé; ceux-là avec le cylindre devraient former environ la moitié de l'épaisseur du canon. Des bandes d'acier devraient maintenant être tournées en spirale en couches alternées, à l'épaisseur voulue, en renversant à chaque couche le sens de l'enroulement de manière à briser les joints.

« L'arrangement des matières dans l'ordre de leur puissance de dilatation donne plus de travail à l'extérieur du canon, car le fer coulé est deux fois plus expansif que le fer forgé, et le fer forgé est deux fois plus expansif que l'acier. Toutes les parties de la paroi du canon supporteraient ainsi un effort en même temps, et il ne pourrait y avoir d'éclatement par les couches successives, comme on l'a montré dans une partie antérieure de cet ouvrage. C'est le cas du canon de fer coulé où la capacité de dilatation de la paroi est constante à travers l'épaisseur entière.

sons * : « Le fer forgé peut être étendu d'environ 0.0015 de sa longueur sans nuire à son élasticité, et il a besoin d'un effort d'environ 14 tonnes par pouce carré, ou d'environ les $^{5}/_{9}$ de son poids maximum de rupture pour produire cet effet.

« Le fer coulé est avarié d'une manière permanente s'il est dilaté d'environ 0.0004 à 0.0005 de sa longueur, effet qui se produit par un effort de son poids maximum de rupture, ou de $2\,^{1}/_{2}$ à 4 tonnes par pouce carré. Par conséquent, le fer forgé peut se dilater trois fois autant que le fer coulé, et offrira de trois et demi à six fois la résistance à la force appliquée, en dedans des limites de son élasticité.

« Maintenant l'effort sur le métal d'un canon est plus grand au renfort qui entoure immédiatement l'âme, et décroît graduellement vers l'extérieur où il est le plus petit, l'effort sur toute circonférence ou couche particulière étant en raison inverse du carré de son diamètre. Il est donc évident que si le fer forgé est placé à l'intérieur, et le fer coulé à l'extérieur, ils seront arrangés l'un et l'autre dans la meilleure position pour supporter

* *Guns versus armor plates*, etc., 1863.

l'effort sans avarie, et une recherche des dilatations relatives de tous deux sous l'effort montrera que, dans cette position, les deux métaux travailleront ensemble s'ils sont dans des proportions de grandeur convenable, et chacun des deux supportera l'effort de tension qui lui est propre, sans être soumis à aucune tension initiale et, par conséquent, sans risque et sans incertitude, relativement à la somme de force qui est appliquée. »

325. Cette méthode, proposée par M. Parsons pour renforcer un canon de fonte de fer de 68, est illustrée par la fig. 154. Il dit :

« On fore dans le bout de la culasse du canon un retrait de forme conique, et on tourne un tube de fer forgé que l'on adapte dans l'excavation, et on l'assujettit à sa place par un tampon de culasse. Dans les canons de cette dimension, je recommande de faire le tube de la doublure par-dessus un tube central, entouré de cercles ou tubes contractés, forcés ou vissés par-dessus, et tourné alors à la dimension convenable. Le tube de doublure a un tampon propre pour son fond de culasse qui est destiné à empêcher les gaz de l'explosion de pénétrer entre le bout du tube de doublure et la vis de culasse, et agissant sur sa plus grande superficie

qui pourrait mettre sa sécurité en danger. Il n'est pas nécessaire pour le tube de doublure d'être forcé dans la rentrée faite dans le renfort du canon, afin de produire un effort initial sur lui et sur le fer coulé (comme on le verra d'après les calculs de sa force); tout ce qui est nécessaire est de lui donner un ajustage précis et commode, mais sa longueur est tellement ajustée, qu'en vissant par-dessus la vis de culasse, il peut être comprimé dans le sens de sa longueur entre elle et l'épaulement du retrait, ce qui le fait participer à toute la force longitudinale du fer coulé. *** De plus, l'effort est considérablement plus grand au bout de la culasse de l'âme que sur toute autre portion de sa longueur, la pression des gaz explosifs n'étant que du quart environ quand le projectile a parcouru une distance d'environ quatre fois celle occupée par la poudre de la charge, de sorte qu'il sera seulement nécessaire que le tube de doublure s'étende sur cet espace ou à peu près. »

326. Il paraîtrait plus sûr, néanmoins, en vue de la faiblesse connue des canons qui se chargent par la culasse, d'étendre sur toute la longueur du canon le tube de doublure. Une force à la bouche, quand même elle n'est pas nécessaire, vaut mieux

qu'un manque de continuité et d'homogénéité au siége de la pression maximum. Une objection pour étendre le tube jusqu'à la bouche du canon, consiste en ce que le fer forgé posséderait en cet endroit, attendu qu'il ne présente à l'extérieur que sa simple épaisseur, peu de résistance aux boulets de l'ennemi. Mais dans les tourelles et les casemates modernes, un canon est peu exposé. En effet, la plus grande partie de la volée en fer coulé pourrait être entièrement enlevée sans affaiblir le canon, permettant ainsi l'usage d'embrasures plus petites. Nous observerons (329) que le capitaine Palliser a laissé le tube interne se projeter au-delà de la bouche des anciens canons de fonte de fer, s'assurant ainsi l'avantage d'une âme plus longue.

327. M. Parsons fait le calcul suivant de la force d'un canon ordinaire en fer coulé de 68, et du même canon quand il a été renforcé comme on le voit dans la fig. 154 :

TABLEAU XLIX. — Calcul de la force du canon ordinaire de 68 du service, en fer coulé.

Force transversale au renfort.

Diamètre de l'âme	8 pouces.
Diamètre extérieur	26 pouces.

Supposons qu'on partage la paroi du canon en

neuf anneaux ou couches épaisses de 1 po. chacune, le premier anneau étant forcé à la limite de sa plus grande élasticité, en prenant le pouce pour unité de longueur, nous avons :

	Po.	côtés.	Po. car.	Tonnes	Tonnes.
1re couche.............	1	× 2 =	2	× 4 =	8.00

Rapport inverse.

2e couche comme	....	$8^2 : 8 :: 10^2 :$	5.12
3e	Id.	$8^2 : 8 :: 12^2 :$	3.56
4e	Id.	$8^2 : 8 :: 14^2 :$	2.51
5e	Id.	$8^2 : 8 :: 16^2 :$	2.00
6e	Id.	$8^2 : 8 :: 18^2 :$	1.58
7e	Id.	$8^2 : 8 :: 20^2 :$	1.28
8e	Id.	$8^2 : 8 :: 22^2 :$	1.06
9e	Id.	$8^2 : 8 :: 24^2 :$	0.89
Force transversale de l'unité sur une longueur de 1 po.			26.10 ton.

et $\frac{26.10 \text{ tonnes.}}{8 \text{ diamètre de l'âme}} = 3.26$ = la force tranversale par chaque po. carré de l'âme.

Force longitudinale.

Superficie du cercle de 26 pouces (diamètre extérieur). — Superficie du cercle de 8 pouces (diamètre de l'âme) = 530 po. carrés — 50 po. carrés = 480 po. carrés × 4 tonnes = 1920 tonnes

et $\frac{1920}{50 \text{ po. carrés, surperficie de l'âme.}} = 38.4$ tonnes = la force longitudinale par po. carrés de la superficie de l'âme.

TABLEAU L. — Calcul de la force du même canon de 68 en fer coulé, quand il a été renforcé par un tube de doublure en fer forgé.

« En mettant en place le tube de doublure du canon de 68 renforcé, les anneaux extérieurs sont contractés par-dessus le tube interne, et leurs dimensions sont tellement ajustées que, par la contraction des anneaux externes, quand ils se refroidissent, il y aura un effort de tension initiale égal à environ la moitié de la limite de la force élastique du métal, ce qui produira à peu près le montant de la pression correspondante sur l'anneau intérieur, en sorte que quand la surface interne du tube interne est forcée à l'étendue complète de son élasticité, la surface interne du tube externe sera également forcée.

« Suivant alors la même méthode de calcul, et divisant le canon en couches imaginaires de 1 po. d'épaisseur comme auparavant, nous avons :

Tube de doublure. — Force transversale.

Premier anneau.

	Po. Côtés. Po. car. Tonnes.	Tonnes.
1re couche	$1 \times 2 = 2 \times 14 =$	28.00
2e couche comme	$8^2 : 28 :: 10^2$	17.92

Second anneau.

	Po. Côtés. Po. car. Tonnes.	Tonnes.
1re couche	$1 \times 2 = 2 \times 14 =$	28.00
2e couche comme................	$12^2 : 28 :: 14^2 ::$	20.57
Force transversale de l'unité sur une longueur de 1 po. du tube de doublure. — Tonnes........................		94.49

ÉTUI DE FER COULÉ.

« Quand l'intérieur du tube de doublure est forcé à la limite de son élasticité, ce qui l'étendra d'environ 0.0015 de sa longueur, l'extension relative de toute autre couche étant en raison inverse du carré de son diamètre, il s'en suit que l'extension de la surface extérieure du tube de doublure, dans le même moment, sera en raison inverse comme $8^2 : 0.0015 :: 16^2 : 0.00038$, ou environ 0.0004, et le tube de doublure étant inséré dans la culasse à accès commode, sans qu'on mette sur lui de matière avec un effort initial de la part du fer coulé qui lui sert d'étui ; l'extension de la surface interne du fer coulé sera la même ou à peu près la même que l'extension extérieure du tube de doublure.

« Maintenant, avec une dilatation d'environ 0,00042, le fer coulé est forcé à environ la limite totale de son élasticité, ou, prenant le même coefficient qu'auparavant, d'environ 4 tonnes par pouce carré, et continuant les calculs du cylindre de fer coulé du renfort sur le même système, nous avons :

Force transversale.

		Po. Côtés. Po. car. Ton.	Tonnes.
1re couche	....	1 × 2 = 2 × 4 =	8.00
2e Id.	....	16^2 : 8 :: 18^2 :	6.32
3e Id.	....	16^2 : 8 :: 20^2 .	5.12
4e Id.	....	16^2 . 8 :: 22^2 :	4.23
5e Id.	....	16^2 : 8 :: 24^2 :	3.56
		Tonnes.........	27.23
Ajoutant la force du tube de doublure		....	94.49
Force transv. de l'unité de surface sur une long. de 1 po. Ton.			121.72

et $\frac{121\ 72}{8}$ = 15.21 = la force transversale par po. carré de l'âme.

La force longitudinale, en prenant la section en travers de la partie la plus faible de la paroi de fer coulé, sera :

Force longitudinale.

Superficie de 23 (Po.) — superficie de 12 (Po.) = 415 (Po. car.) — 113 (Po. car.) = 302 (Po. car.)

et 302 (Po. car.) × 4 (Ton.) = 1208 (Tonnes.) et $\frac{1208 \text{ (Tonnes.)}}{50}$ = 24.16 tonnes = la force longitudinale par po. carré sur la surface de l'âme.
50 po. car. superficie de l'âme.

Ceci ne diminue pas la confiance qu'on doit avoir pour la force longitudinale provenant du tube de doublure quelle qu'elle puisse être ; en sorte que le canon renforcé a une force près de cinq fois

aussi grande que le même canon dans son état ordinaire.

« Pour produire ce résultat, il faut environ 17 quintaux de fer forgé, que l'on arrange en tube et en anneaux enroulés, et environ 6 quintaux de fer coulé.

328 **Méthode du capitaine Palliser.** — Dans son brevet, daté du 11 novembre 1862, le capitaine Palliser établit ainsi le principe de l'élasticité variable : « Mon principe général pour la construction de l'artillerie, consiste à former le baril de tubes concentriques de différents métaux ou du même métal d'une manière différente, en sorte, qu'autant que possible, quand par suite des degrés respectifs d'élasticité, un tube est sur le point de céder, tous les tubes peuvent être sur le point de céder. Cela diffère essentiellement de la méthode qui a prévalu jusqu'ici d'égaliser les efforts sur des tubes concentriques en plaçant un effort initial ou permanent sur le tube extérieur. Puisque la puissance de toute substance pour résister à un effort d'impulsion est mesurée par le produit de la résistance qu'elle offre quand on l'étend au degré de dilatation qu'elle peut atteindre, et puisque la surface intérieure d'un canon s'étend

davantage, il s'en suivra qu'une substance extensible à l'intérieur d'un canon offrira la plus grande résistance à la pression impulsive de la décharge, tandis qu'elle évoquera la plus grande somme de protection de la part des portions extérieures du canon : Je fais, par conséquent, la portion intérieure du baril avec un tube du fer forgé le plus ductile, qu'on a plié autour d'un mandrin, en sorte que les grains ou les fibres du fer puissent courir en circonférence ou en spirale. »

Il paraît y avoir quelque confusion d'expression dans cette description. Un tube de fer forgé n'accomplit pas le but indiqué parce qu'il est très-ductile, mais parce qu'il possède un fort degré d'élasticité, c'est-à-dire parce qu'il s'étend à une distance relativement grande, avant que sa ductilité ne soit mise en action — avant qu'il n'atteigne la limite de son élasticité. La ductilité implique l'idée d'un changement de figure permanent; en fait, la ductilité du fer forgé est utilisée d'une autre manière par le capitaine Palliser, et ses vues très-utiles sont expliquées dans son mémoire *.

389. Puisque, dans la pratique, l'élasticité du

* A treatise on compound ordnance, 1863.

tube intérieur de fer forgé n'est pas proportionné à son plus grand allongement, on a trouvé nécessaire de suppléer à ce qui manque en le soumettant à une légère compression, en sorte qu'il peut s'étendre à une distance plus grande. Cette compression est donnée dans les canons Blackely construits d'après ce principe (60. 61) en contractant les tubes à la fois. Le capitaine Palliser fait la chose en étendant d'une manière permanente le tube de fer forgé pendant qu'il est dans le tube de fer coulé au moyen des grosses charges d'épreuve. Il propose aussi de donner une forme conique aux tubes, et de les fixer à la fois par une vis, comme on le voit dans les gravures de son canon, *fig.* 155 et 156.

330. Quand la limite de l'élasticité du fer forgé a été dépassée et qu'il a acquis un allongement permanent, il ne s'étendra pas davantage en répétant les mêmes efforts. M. Edwin Clark a trouvé que c'était précisément la même chose que lorsque des chaînes élèvent des poids très-pesants, et le capitaine Palliser en a fait l'expérience de la manière suivante : J'ai construit un tube de canon qui avait 1 po. $^1/_2$, de diamètre, et j'y ai jeté un boulet cylindro-conique de 1 liv. $^1/_2$; le tube était ajusté avec soin dans le canon à 1 po. en dedans du fond, et

était vissé à demeure avec facilité, par le moyen de l'écrou, à la bouche. Je tirai une série de charges de plus en plus sévères avec ce canon, et après chaque décharge, je sortais le tube et je l'examinais. Après la dernière et la plus sévère décharge, je trouvai qu'il y avait une certaine puissance indispensable pour dévisser l'écrou due à ce que le tube s'était légèrement faussé. Je réinsérai alors le tube, et je le fixai à sa place par derrière comme auparavant avec de l'émeri fin et de l'huile. En employant dans le canon la même charge qui avait déjà agrandi le tube précédemment, je trouvai que cela ne produisait plus d'effet sur le dernier, que l'on peut enlever et remettre en place avec la même facilité que dans le premier cas. »

331. Le mémoire du capitaine Palliser décrit ainsi les principes et la construction de son canon : « La manière que je propose pour satisfaire aux conditions déjà énoncées est d'introduire dans le canon de fer coulé un baril ou cylindre creux en fer forgé en glène, d'une telle épaisseur en proportion de son calibre, que l'effort restant supporté par ce tube portera le rapport à l'effort qu'il transmet au fer coulé qui l'environne au degré le plus convenable en raison des forces élastiques respectives.

Les proportions précises dépendront de diverses circonstances : l'expansion excessive du fer forgé due à la chauffe, aussi le grand intervalle qui sépare les limites de l'élasticité et la rupture de ce métal, et que le fer coulé aura à faire presque tout le travail longitudinal. Je montrerai à présent, qu'en faisant varier l'épaisseur du tube, nous pouvons régler les efforts transmis avec la plus grande précision ***.

« La méthode mécanique par laquelle je propose d'insérer le tube consiste à le faire légèrement en forme de cône, et à le mettre dans le canon, dont l'âme a une forme conique correspondante ; aussitôt que le tube vient en contact avec le canon dans toute sa longueur, un coussin à vis mis autour de la bouche le vissera à demeure à sa place. Puisqu'on connaît la somme de la longueur du cône aussi bien que la distance à laquelle le tube est chassé par le coussin, et qu'on connaît aussi l'augmentation ou la diminution due à n'importe quelle pression exercée sur le fer coulé ou forgé, nous serons en état de mesurer de cette manière, avec la plus grande précision, l'effort placé sur le canon extérieur en fer coulé.

« Ce tube peut être divisé en deux tubes concen-

triques ou davantage dans les plus gros canons, et ces tubes peuvent être forcés l'un sur l'autre d'une telle manière que le travail fait par chaque tube soit égalisé, et un troisième tube fait de quelque acier assorti pour une partie de sa longueur peut être placé d'une manière stable sur les premiers. La distance de la surface intérieure de ce tube à la surface extérieure du canon sera fixée par son élasticité ; ou, en d'autres termes, l'épaisseur des tubes intérieurs dépendra de l'élasticité du tube d'acier.

« Dans les très-gros canons, je désirerais que le tube le plus interne soit construit du fer le plus doux et le plus ductile, comme le fer au charbon de bois L de Bradley ; celui qui vient après pourrait être d'une nature plus forte et plus dure ; et le troisième en acier à quelque distance de la chambre. Ces tubes peuvent s'ajuster simplement avec soin les uns avec les autres, et le tube entier peut être chauffé avec une charge équivalente à celle que le canon aura à supporter quand il sera fini. Le tube devra, durant cette épreuve, butter contre quelque substance pour empêcher la culasse de sauter. On trouvera que l'âme du tube intérieur a légèrement augmenté. Il faudra alors reforer le tube

à la dimension qu'il doit avoir, le rayer et le mettre dans le canon. On trouvera que les tubes sont devenus fixés l'un dans l'autre d'une manière immuable, et alors on leur fera subir à chacun un effort utile. Cet effort de l'équilibre du tube interne ne sera jamais augmenté par une charge égale, même si le tube n'était pas placé dans le canon. »

332. Le canon de fonte de fer de 68 (8 po.) renforcé le premier par le capitaine Palliser (*fig.* 155), fut foré à 13 po., et reçut un tube de fer forgé (glène Armstrong) de 9 po. d'âme et de 2 po. d'épaisseur.

Il fut éprouvé de la manière usuelle — 10 coups avec les boulets cylindriques de 68 liv. et la charge de 16 liv. du service, 10 coups avec les lingots de 136 liv., etc. Il résista cent coups avec les cylindres augmentés à chaque dix coups du poids d'un boulet, et il éclata ensuite au 7e coup avec double charge et un seul cylindre.

Le second canon du capitaine Palliser avait un tube d'acier intérieur et un tube de fer forgé entre l'écaille d'acier et celle de fer coulé. Le fer forgé céda naturellement quand on eut dépassé la capacité de dilatation de l'acier, et le canon éclata à la

première salve *. Dans le commencement de l'année 1864, un canon à plusieurs écailles en fer coulé avait été rejeté comme usé. On le renforça d'après ce plan par l'introduction de deux tubes en glène de fer forgé; l'âme était de 6 ½ po. Il fut essayé avec des charges croissantes et éclata au 81e coup avec un cylindre de 612 livres et 16 livres de poudre. D'autres canons sont en construction à Woolwich d'après le plan du capitaine Palliser.

333. MÉTHODE DU CAPITAINE BLAKELY. — Dans l'Addition datée du 11 avril 1860, à son brevet français du 28 juin 1855, le capitaine Blakely explique ainsi le principe de l'élasticité variable :

« Je forme quelquefois le tube interne, en tout ou en partie, de fer ou d'acier forgé (de préférence avec des rubans soudés en spirale), ou de bronze, — ou de fer ou d'acier recouvert de tours en fil de fer, — et je coule quelquefois sur le tube extérieur après avoir chauffé le tube intérieur; quelquefois,

* On se rend à peine compte de l'objet de cette construction, si elle n'a pas été faite pour démontrer la certitude d'un échec quand on s'écarte du principe établi par le capitaine Palliser. Outre l'arrangement inconvenant des métaux par rapport à l'élasticité et à la ductilité, la mollesse du fer forgé le rendait parfaitement impropre à transférer la pression de l'acier au fer forgé.

je le force à froid, faisant l'extérieur du tube interne légèrement convexe. Quelquefois, le tube interne, et parfois le tube externe, ne s'étend qu'à une petite distance de la culasse. Quand le tube externe forme la partie principale du canon, j'aime mieux le faire en fer ou en acier roulé avec les fibres étendues dans le sens de la longueur.

« Je fais le canon se chargeant par la culasse avec le tampon de culasse vissé ouvert et creux sur l'avant et fermé sur l'arrière, ce qui ajoute à la force de la circonférence du canon. Je préfère faire en sorte que ce tampon fasse le cône sur l'avant, pour avoir plus de facilité à le mettre en place. »

« Le dessin ci-joint (*fig.* 157) montre la section d'un canon ainsi construit. A est le tampon creux de culasse, BB un tube interne qui étant comprimé par le tube CC qui forme presque tout le canon, ajoute beaucoup à sa force. Le montant de la compression doit dépendre de l'espèce de métal employé et de l'épaisseur du tube interne. J'ai trouvé par expérience que quand le tube interne est un tiers aussi épais que le diamètre de l'âme, ses parties extérieures ne sont forcées que d'environ un tiers autant que ses parties internes, et quand il a les deux tiers de l'épaisseur de l'âme, alors les par-

ties extérieures ne sont forcées que du septième des parties internes. J'essaie par conséquent combien la matière des deux tubes peut être étendue sans avarie et j'ajuste la dimension de chaque tube, de sorte qu'avant que le côté intérieur du tube interne soit complètement forcé, le côté intérieur du tube externe le sera également. Si, par exemple, le tube interne a 6 pouces dans l'âme et 2 pouces d'épaisseur et qu'il soit fait en glènes de bon acier qui s'étendront de 1 sur 300, alors je sais que quand le diamètre intérieur du tube est étendu jusqu'à 6 $^1/_{50}$ po., le diamètre extérieur sera seulement étendu jusqu'à 10 $^1/_{90}$ po. Si, maintenant, le tube extérieur est fait du même acier, mais avec les fibres étendues dans la longueur, en sorte qu'il ne puisse s'étendre, comme je l'ai dit, de 1 sur 600, alors je fais son diamètre intérieur de 9.995, en sorte que quand il devient 10 $^1/_{90}$, il sera complètement forcé. DD est un anneau portant les tourillons ajoutant aussi de la force au canon, ainsi que le fait l'anneau EE auquel est attaché un support pour le tampon de culasse quand on l'enlève du canon. Un trou pratiqué dans le tampon permettra de mettre le feu à la poudre par des moyens convenables. Je préfère une aiguille à frapper la pou-

dre détonante, comme on le préfère à présent pour les petites armes. »

334. La manière dont le capitaine Blakely, utilise maintenant l'élasticité des métaux, avec le système de la tension initiale, a déjà été décrite (59, 60). La *fig.* 158 est un canon de 9 po.; le tube intérieur est fait en acier d'une grande élasticité, le second tube en acier moins élastique, et l'enveloppe extérieure est en fer coulé qui a encore moins d'élasticité. Ce qui manque à l'élasticité des tubes intérieurs est compensé en contractant tous les tubes ensemble avec une légère tension initiale.

Section II. — Effets de la vibration.

335. Les deux moyens considérés ci-dessus d'augmenter la résistance d'un canon à la simple pression ne sont faits qu'en proportion du nombre des tubes séparés ou des couches qu'on a employées. Mais en augmentant le nombre des parties on diminue la résistance du corps à un autre effet d'effort, spécialement d'effort soudain.

Si une plaque d'armure épaisse, composée de

couhces en contact intime, mais sans être liées ni soudées ensemble, est frappée par un boulet, le boulet lui départira deux sortes de mouvements. Le résultat observé sera, (supposant pour le moment que la figure des parties n'est pas changée d'une manière permanente) que si la plaque est cent fois plus lourde que le boulet, et que le boulet ait une vitesse de mille pieds par seconde, toute la masse de la plaque sera mise en mouvement avec une vitesse de 10 pieds par seconde. Mais avant que cela n'arrive, toute la force du boulet aura été communiquée, à travers la masse d'une couche à l'autre, par une vague qui se meut avec quelque chose comme la vitesse du son. La couche frappée sera pour un instant diminuée en épaisseur et étendue dans les autres dimensions. Quand elle reprend sa figure originelle en vertu de son élasticité, elle comprime à son tour la couche voisine et ainsi de suite jusqu'à ce que la dernière couche reçoive le choc. Quand cette dernière couche est comprimée (son inertie tend à la tenir en place jusqu'à ce qu'elle soit comprimée), elle est alors dans la condition d'un ressort qui presse également dans deux directions, et auquel une lourde masse fait ré-

sistance d'un côté, mais qui n'a que son propre poids pour résister de l'autre côté, en sorte qu'elle saute avec violence à l'arrière. Mais si les couches étaient soudées ensemble, cette tendance à la séparation serait surmontée par la cohésion du métal.

Ce phénomène se présente quand on tire un canon. Le choc est propagé de couche en couche comme une vague. Si les couches sont des tubes déjà détachés, le tube extérieur ne reçoit pas d'assistance des autres tubes pour résister à la vibration. Par suite le choc sur la couche extérieure n'est pas aussi grand que le premier choc sur la couche intérieure parce qu'il a été distribué sur plus d'espace et qu'il a diminué en surmontant la ductilité du tube interne. Le moyen qui se présente pour modifier l'effet de la vague d'effort sur le tube extérieur est de lui donner plus de masse et par là une plus grande inertie. Mais dans le cas où le tube extérieur est dans une tension initiale élevée, cet effet de vibration est probablement beaucoup aggravé. La tension initiale du tube extérieur accroît certainement la résistance de toute la série des tubes à une pression statique interne, mais sa résistance indivi-

duelle à l'effort en est amoindrie, et il n'oppose que sa propre résistance à la vague de l'effort.

Ces faits paraîtraient concorder pour faire manquer plusieurs tubes extérieurs des canons Armstrong — de 300, par exemple, — les tubes que l'on comprend comme mis en place avec une pression inférieure à celle qui est requise par la pression statique seule.

En outre de cette vague d'effort instantané, il y a d'autres vibrations comme celles des cordes de musique qui auront lieu indubitablement dans les pièces d'un canon, et ces vibrations sont inégales, étant proportionnées à la tension et à la grandeur des parties. On sait que dans les machines les fractures sont susceptibles de survenir à l'endroit où les parties vibrantes accroissent tout à coup leur dimension ; par exemple, au lieu où les plaques d'une chaudière se recouvrent.

Le caractère et les circonstances des manquements des canons cerclés sont compris encore d'une manière trop indéterminée quant à présent pour garantir aucune conclusion positive sur cet objet; mais il est certainement raisonnable de supposer que le principe de la construction peut être porté trop loin — qu'il faut une certaine

masse et une certaine continuité de structure pour résister aux vagues de la force et de la vibration, de même qu'il faut aussi une certaine division des parties pour résister à la pression statique.

SECTION III. — EFFETS DE CHALEUR.

556. On estime que la chaleur de la poudre en explosion dans son volume originel est d'environ 7,000 degrés Fahrenheit. On n'a pas constaté exactement ou même approximativemet quelle température existe à l'intérieur du canon et combien elle dure de temps, mais dans le cas des canons rayés, surtout quand l'inertie et le frottement du projectile sont grands, tandis que la surface qu'ils compriment est petite, il y a évidemment une excessive température et un temps appréciable pour que le métal environnant reçoive la chaleur. La chaleur du gaz qui a fait explosion peut se sentir à l'extérieur d'un petit canon de campagne immédiatement après la première décharge.

Quelle que puisse être la chaleur, elle se répand

à l'intérieur du canon, et si les parois sont construites sans effort, elle comprime l'intérieur, et met l'extérieur en tension, renforçant ainsi la pièce dans une certaine mesure. Quand un canon est coulé ou forgé massif, et qu'il est laissé par conséquent dans un état de compression externe, par le refroidissement plus rapide de l'extérieur (364), l'échauffement de l'intérieur par le gaz de la poudre renforce le canon à un degré encore plus grand. Mais quand les efforts d'un canon coulé sont une fois ajustés convenablement, cette expansion interne par la chaleur le dérange, en augmentant la compression des parties intérieures et la tension des parties extérieures, affaiblissant ainsi le canon dans une mesure qui mérite d'être prise en considération, quand, comme M. Longridge le prouve (293), une erreur de $^1/_{100}$ pouce dans le diamètre d'un cercle de 17 pouces diminue sa force de 40 pour cent.

En même temps, l'intérieur du canon est dilaté dans le sens longitudinal, ce qui tend aussi à le rompre s'il est massif. Mais si le tube intérieur échauffé peut glisser vers les extrémités sans déranger les tubes extérieurs (les tubes intérieurs de Armstrong glissent de cette façon par des

causes diverses) la dilatation longitudinale peut n'être pas la source d'un effort direct, quoique la dislocation des parties causerait des avaries au canon à d'autres égards *.

337. Les canons d'un navire cuirassé doivent être peu nombreux, parce que les tourelles et les casemates, assez épaisses pour résister au boulet, doivent être de petites dimensions. Il est donc évident, spécialement en vue des qualités offensives limitées des *Monitors* devant Charleston, que l'efficacité des navires cuirassés dépendra d'un tir très-rapide. Cette augmentation rapide de chaleur, — la chaleur intense et soutenue due aux fortes charges et aux projectiles allongés — dans des canons à parois épaisses, paraîtrait être suffisamment dangereuse pour justifier au moins une enquête expéri-

* Sir William Armstrong dit, dans son rapport du 14 juillet 1855, sur les canons de campagne rayés en fer forgé, que « son canon était affranchi d'une manière remarquable de la tendance à s'échauffer par le tir, fait qui peut seulement s'expliquer d'après la supposition que l'échauffement du canon est occasionné, non par le contact de la flamme, mais par quelque action moléculaire du métal produite par l'explosion, et à laquelle le fer forgé résiste d'une manière plus efficace que la fonte ou le bronze ; mais il est possible que la structure composée de son canon puisse aussi opérer pour amortir la vibration et empêcher le mal en question. »

mentale approfondie de la question *. En l'absence de toute expérience directe, il est impossible d'assigner l'importance propre à cette cause évidente de faiblesse dans la grosse artillerie, spécialement quand elle est placée sous un effort initial.... M. Norman Wiard, de New-York, a traité le sujet avec beaucoup d'intelligence. On trouve ses vues et ses illustrations dans l'Appendice. D'autres auteurs ** s'en sont rapportés aux effets d'un tir rapide sur la durée du canon. M. Mallet, dit : « L'expansion de l'intérieur du canon, agissant selon la tangente, exerce un puissant effort contre la

* Il a été cependant constaté en Crimée, que quelques canons de 68 ont tiré rapidement et ont résisté 2000 coups; que les canons de fonte au siége de Saint-Sébastien ont tiré 300 coups par jour, et que plusieurs des gros mortiers de siége anglais ont résisté 2000 coups avec des charges de 20 livres, en étant tirés très-rapidement.

Le capitaine Blakely dit qu'un canon cerclé de fonte espagnol, qui a résisté 1366 coups, avec un boulet allongé de 61 livres et 7 liv. de poudre, a tiré 100 coups le premier jour à des intervalles de 1 minute à 1 $^1/_2$ minute, ce qui a si fort échauffé le canon, qu'on ne pouvait le toucher avec la main; le jour suivant, on a tiré 50 coups dans la matinée et 50 dans la soirée avec la même rapidité. *Journal de l'Institut royal du Service-Uni*, juin, 1862.

** Construction de l'artillerie, 1862.

résistance rigide de son extérieur. L'allongement de l'intérieur de la volée, pour la même cause, étire ou force l'extérieur à s'allonger avec lui *.

338. M. Wiard propose de remédier à cette cause de défectuosité de deux façons : 1° En taillant le canon de telle façon qu'il puisse se dilater sous un effort excessif. Ce plan sera relaté sous le titre du fer coulé (283) ; 2° M. Wiard propose de faire les tubes du canon de métaux différents disposés en ayant égard à leurs allongements relatifs par la chaleur. Un tube intérieur en acier, quoique en contact direct avec le gaz échauffé, ne se dilaterait pas beaucoup plus qu'un tube de bronze plus en dehors qui y serait moins exposé, en sorte que l'effort initial serait peu dérangé.

Le remède le plus naturel et le plus simple consiste à refroidir l'intérieur du canon avec de l'eau

* M. Longridge dit : « Telle est probablement la cause pour laquelle les canons sont plus exposés à éclater quand ils sont échauffés. Ce n'est pas que le fer soit plus faible, car M. Fairbains a montré qu'au dessus de 600° la force de la fonte n'est pas matériellement diminuée ; mais quand le canon est échauffé, la poudre à canon s'échauffe et brûle plus rapidement, et la force est engendrée et appliquée plus instantanément. » — Construction de l'artillerie. Inst. aux Ing. civils, 1860.

à chaque décharge. On a proposé une machine automatique pour faire cette opération. (Voir le chapitre des canons se chargeant par la culasse.)

339. CONCLUSIONS. Il a été clairement démontré qu'en donnant simplement aux parois d'un canon plus d'épaisseur au-dessus d'un point qu'on approche, si on ne l'atteint pas tout à fait dans la pratique, on ajoute très-peu à sa résistance à la pression interne. Un canon homogène dans un état de repos initial ne peut pas, quoique épais, supporter par pouce carré une pression supérieure à la ténacité par pouce carré du métal dont il est composé. La raison en est que les couches internes du métal sont plus étendues, ou plus forcées que les couches extérieures, par une pression interne, en raison inverse du carré de leurs diamètres. Par conséquent, les couches doivent être placées sous un effort initial tel, ou doivent posséder une élasticité variable telle que toutes les parties du canon travailleront également au moment du tir. Ces deux conditions sont parfaitement mises en évidence par le nombre de couches ou de tubes séparés traités de cette façon. Mais la vague de force, qu'il faut distinguer de la pression statique, et les effets d'une vibration inégale détériorent un canon en pro-

portion du nombre de ses parties, en sorte que le principe de la construction ne peut pas avoir un grand développement sans priver le canon de la masse et de la continuité de substance qui lui sont nécessaires.

Il est probable qu'avec les matières actuelles et des poids donnés, un canon composé de deux tubes, quoique pas aussi fort pour résister à la pression statique qu'un autre composé de cinq ou six tubes, résisterait à un plus grand nombre de grosses charges de poudre à canon, et serait un engin d'une plus grande valeur et mériterait plus de confiance. En même temps, il serait plus fort qu'un simple tube homogène.

Le système des cercles avec tension initiale, quoique parfait en théorie, et qu'il soit un progrès reconnu dans la construction de l'artillerie, entraîne certaines difficultés pratiques. Il est difficile d'obtenir, et, avec les matériaux actuels, difficile de conserver le degré précis qui convient à la tension. Quand on emploie plusieurs cercles d'épaisseur différente, le maintien de la force longitudinale qui convient est un problème intéressant, — témoin l'histoire du canon Armstrong. Le cerclage des anciens canons de fonte de fer exige, ou un changement dans la position des tourillons, ou une

prépondérance excessive * et un changement dans la structure de l'affût du canon.

En doublant un canon de fonte avec un tube élastique à proportion de l'allongement qu'il reçoit, on fortifie le canon beaucoup plus qu'il ne le serait par un cercle du même poids et du même prix, et on n'a pas besoin de changer ses tourillons et son affût. Et au contraire du cercle, le tube de doublure n'est pas sous une tension qui tende constamment à le détériorer. Une pareille doublure est aussi susceptible d'empêcher le canon d'éclater par explosion.

Mais, avec les matières actuelles, il serait presque impossible de garantir un degré d'élasticité uniforme dans les différentes couches exactement proportionnel à leur allongement relatif pendant le tir.

* Tourner l'intérieur du renfort du canon de fonte et lui rendre ensuite son diamètre primitif avec du fer forgé, au lieu de cercler par en dehors l'épaisseur originelle de la fonte, en vue de conserver la prépondérance convenable, ou même en vue d'éviter les changements dans l'affût des canons (ce qui paraîtrait être la seule excuse pour la construction adoptée par sir William Armstrong. — Voir fig. 49), est évidemment le procédé le plus dispendieux que l'on pouvait trouver, car il ruine simplement le canon.

Par conséquent le système des cercles, modifié pour éviter quelques-uns de ses défauts, peut venir en aide au système de l'élasticité variable. Si le tube intérieur d'un canon ne peut s'étendre sans avarie à la dimension requise, en plaçant le tube externe sous une légère tension, on remédiera à ce défaut. Alors le tube interne aura un plus grand espace à pouvoir s'allonger en sécurité, et le tube externe prendra une plus grande part de l'effort.

Le système d'élasticité variable est très-convenable et ne coûte pas cher (même quand on le réunit au système de la tension initiale), en mettant les métaux les plus fins et les plus dispendieux à l'intérieur, et les plus durs et les meilleur marché à l'intérieur. Une grosse masse de fer coulé où le poids et une grande dimension ne sont pas un sérieux embarras est peut-être la meilleure enveloppe extérieure. Une masse d'acier, coulé en creux et non martelé, est plus forte que le fer coulé, et coûte seulement la moitié autant qu'une enveloppe forgée en creux *. Dans l'un et l'autre cas, cette masse extérieure fait non-seulement l'ouvrage de-

* Le prix des enveloppes coulées en creux, pour canons de 11 po., est de 350 dollars par tonne; celui des enveloppes martelées sur mandrin, 600 dollars.

mandé à l'enveloppe extérieure, mais elle surmonte l'autre grand défaut des canons cerclés. Son grand poids et son inertie absorbent la vague de force (335) qui romprait un anneau mince placé sous la tension initiale.

Par-dessus tout, un tube d'acier, trempé (probablement en le durcissant à l'huile) de manière à avoir le plus grand allongement possible dans les limites de son élasticité, et forcé dans une grosse enveloppe de fer coulé d'une bonne coupe (à moins qu'il n'y soit comprimé), comme celle du canon de 15 po. coulé en creux pour la marine des États-Unis, avec les tourillons et la culasse coulés par-dessus pour coûter meilleur marché ; — la légère compression initiale de l'acier étant suffisante pour compenser le manque de certitude de sa dilatation (59) — paraîtrait être le meilleur système pour fabriquer un canon de gros calibre, fort, à bon marché, et sur lequel on puisse compter.

(La suite au prochain numéro.)

DÉDICACE

A MONSIEUR JOHN F. WINSLOW,

ESQUIRE.

Mon cher monsieur Winslow,

L'inscription de votre nom en tête de ce livre sur l'artillerie et les cuirasses est non-seulement de ma part un témoignage de gratitude personnelle envers un concitoyen adonné à l'étude de l'art de la guerre, et qui s'applique tout particulièrement à perfectionner et à développer notre matériel de guerre, mais elle est encore l'expression de la reconnaissance d'un grand nombre de nos compatriotes, envers l'homme libéral qui a concentré les efforts de ses associés pour nous donner *en son temps* le canon *Monitor*, la première artillerie d'acier qui ait paru dans notre pays, et introduit parmi nous le procédé Bessemer.

J'ai l'honneur d'être, avec un profond respect,

Mon cher monsieur,

Votre ami,

A. L. HOLLEY.

New-York, 21 septembre 1864.

PRÉFACE.

Quoique le besoin d'un traité sur la construction, les conditions et les résultats de l'artillerie moderne soit généralement admis, il est à propos de donner un mot d'explication sur les motifs qui ont déterminé un ingénieur civil à l'entreprendre.

En Europe et en Amérique l'attention des hommes de la spécialité a été absorbée par les perfectionnements à introduire dans la fabrication de l'artillerie, et ils ont dû nécessairement négliger de compiler et de publier les procédés pratiques mis en usage et les résultats qu'ils ont fournis; en Amérique il faut y joindre le surcroît d'occupations donné par la guerre.

Dans plusieurs voyages relatifs à sa profession qu'il a faits en Europe, l'auteur a eu pour se renseigner des facilités nombreuses et même extraordinaires. En voyant que plusieurs faits n'avaient pas été publiés, sa première intention était de rédiger divers mémoires avec des commentaires de nature à en former un ensemble homogène. Mais il paraissait indispensable de relater en même temps les procédés mis en pratique en Amérique : il était donc à la fois convenable et utile de donner un abrégé de l'opinion des personnes compétentes, qu'elles appartinssent ou non à la spécialité de l'artillerie, et tous les intervalles des recherches étant consacrés à faire des compilations sur l'objet en question, il se produisait constamment de nouveaux faits, ou bien les anciens

prenaient un nouvel aspect sous lequel il fallait les envisager, en sorte que ce qui dans l'origine ne devait être qu'un simple résumé des résultats obtenus, est devenu inévitablement et pour ainsi dire sans aucune intention de la part de l'auteur le traité volumineux que nous offrons au public.

L'auteur aura réalisé le but principal de son travail et sa plus chère espérance, s'il a présenté avec assez de détails les faits les plus importants pour aider les personnes du métier à perfectionner le grand art de la défense.

Quant aux discussions et aux conclusions sur les faits analysés, l'auteur se doit à lui-même la justice de déclarer que s'il n'a pas été aidé par des exercices et des expériences personnelles sur les choses de la spécialité, du moins il n'a été influencé par aucun sentiment de partialité envers qui que ce soit, non plus que par aucune tradition ou préjugé de métier.

LISTE DES ILLUSTRATIONS.

Canon Armstrong.

Canon Withworth.

Canon Blakely.

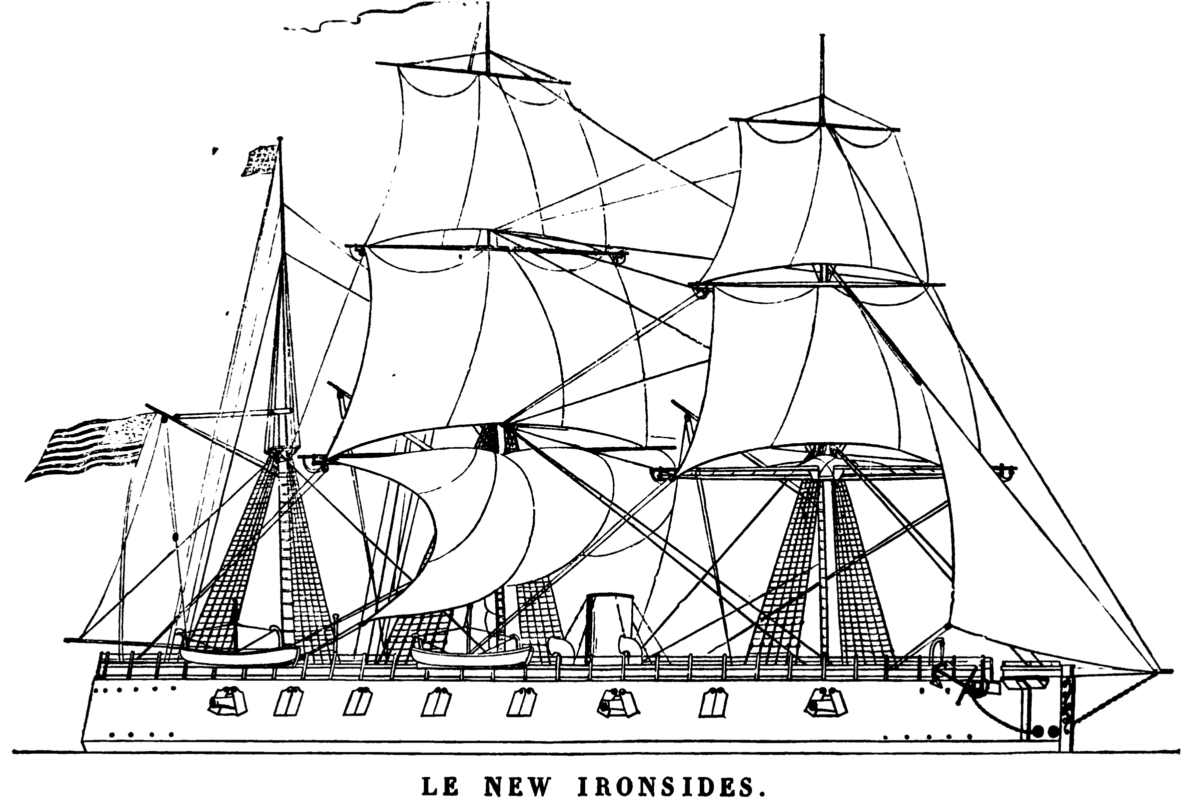
Canon Parrott.

Mélange de canons cerclés.

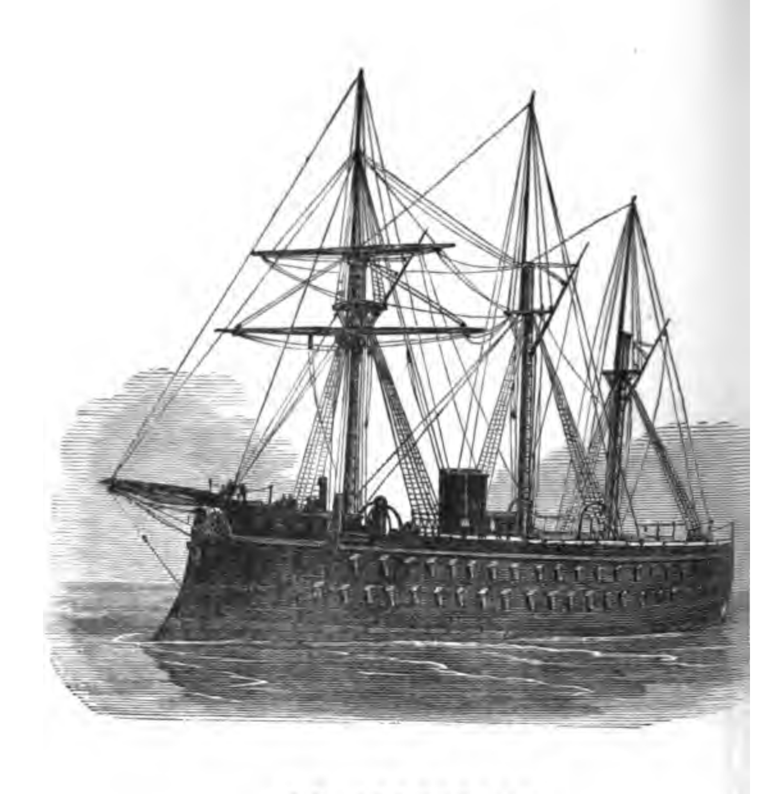
Projectiles à cuirasses.

Concernant les efforts et les structures des canons.

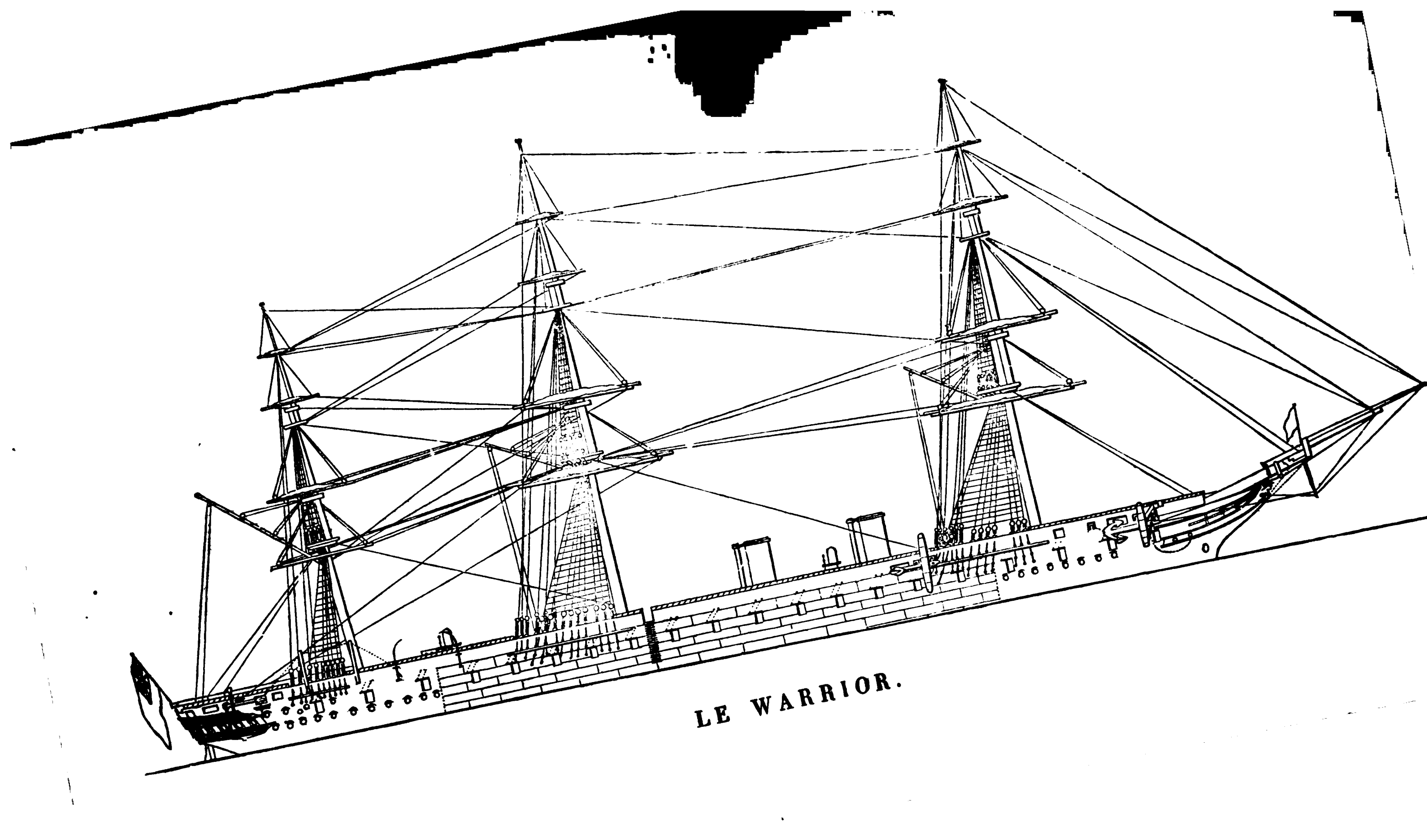
Sceaux. — Typographie de E. Dépée.



LE NEW IRONSIDES.



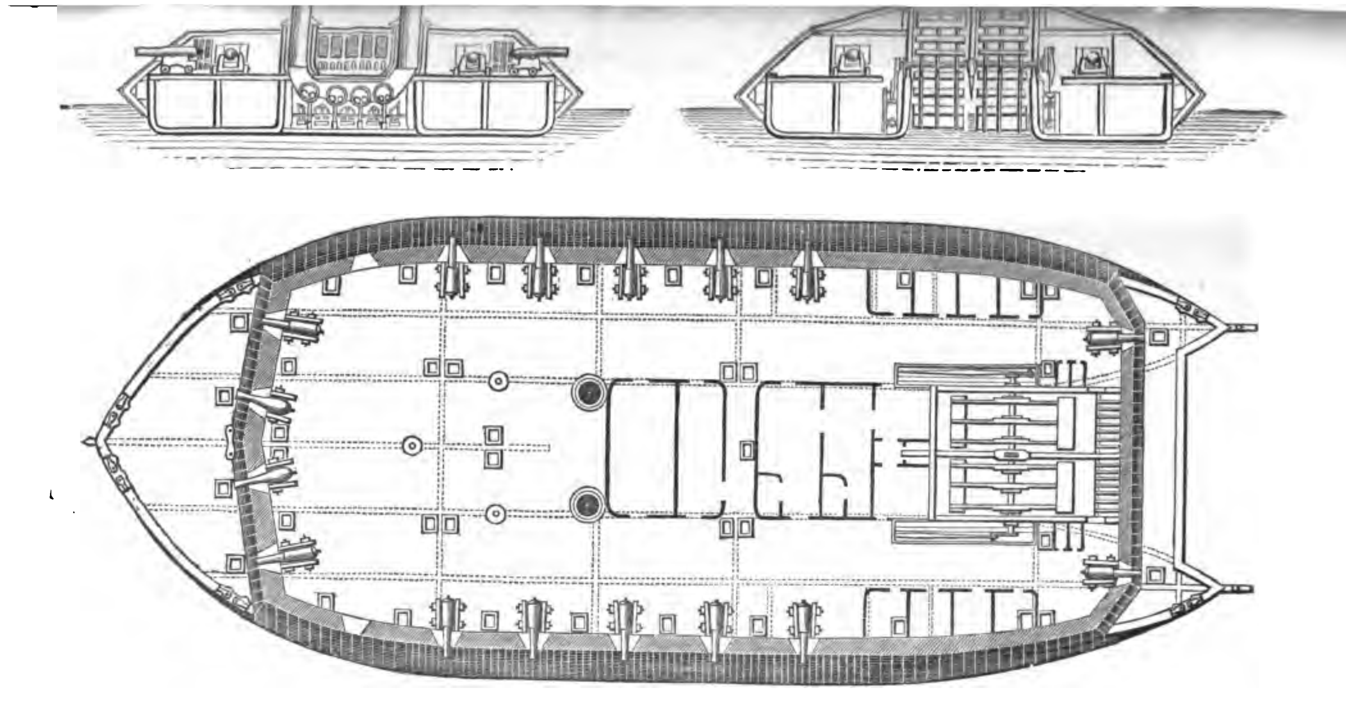
LE SOLFERINO.



LE WARRIOR.

LE BENTON, NAVIRE CUIRASSÉ DU MISSISSIPI

(Section, vue de Côté).

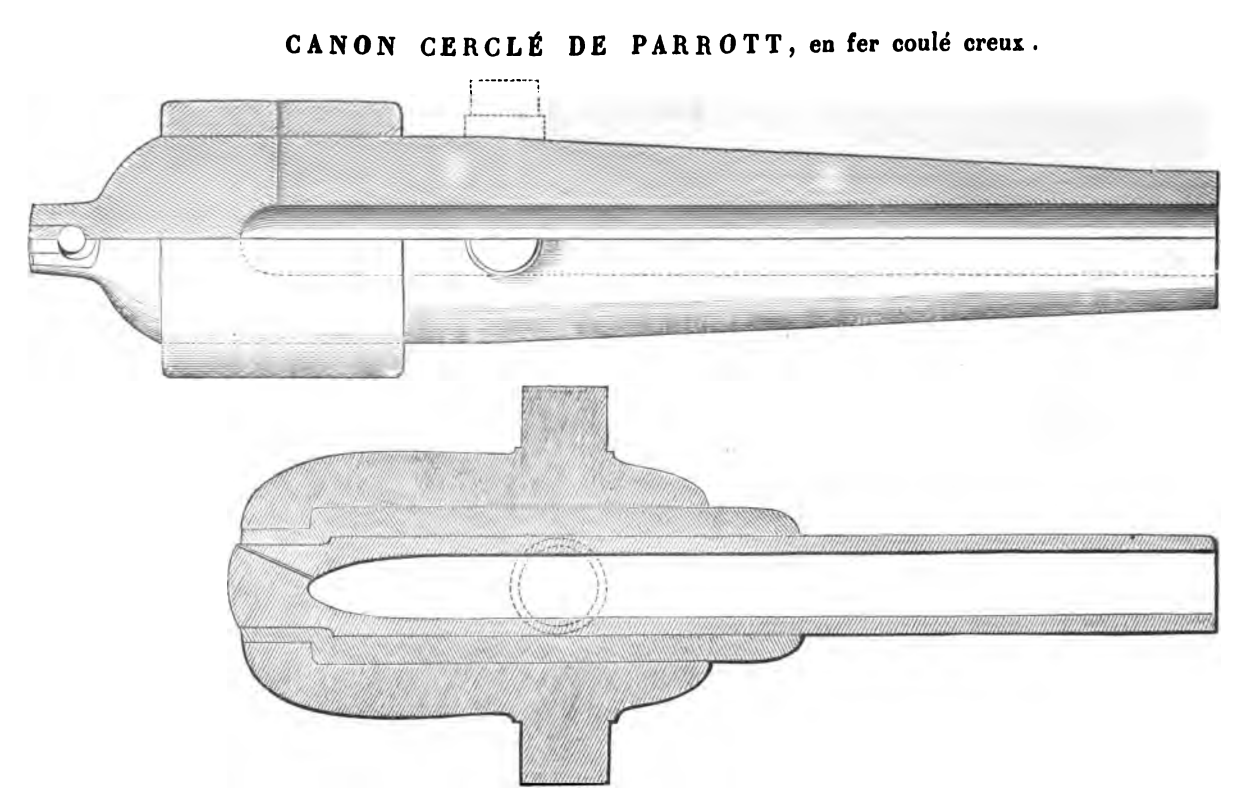


LE BENTON, NAVIRE CUIRASSÉ DU MISSISSIPI
(Section vue de côté , sections diverses).

CANON EN GLÈNES DE FER avec doublure interne en acier.

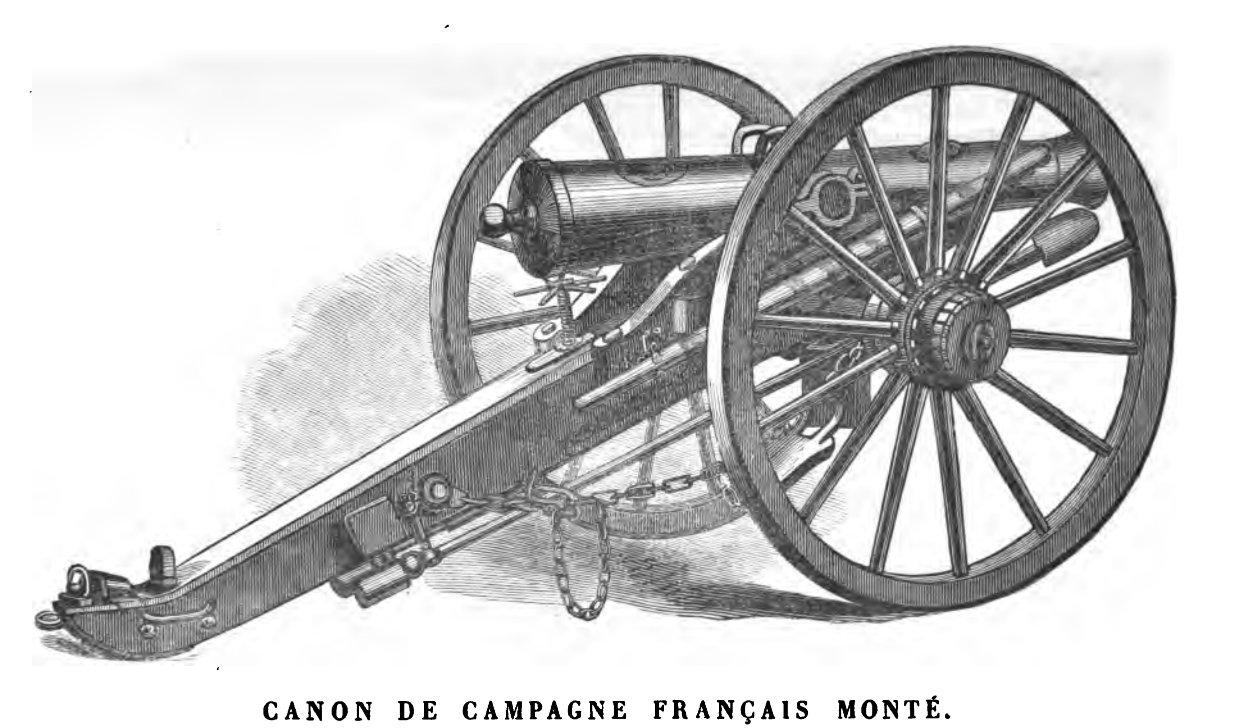
COLOMBIADE en fer coulé

CANON CERCLÉ DE PARROTT, en fer coulé creux.

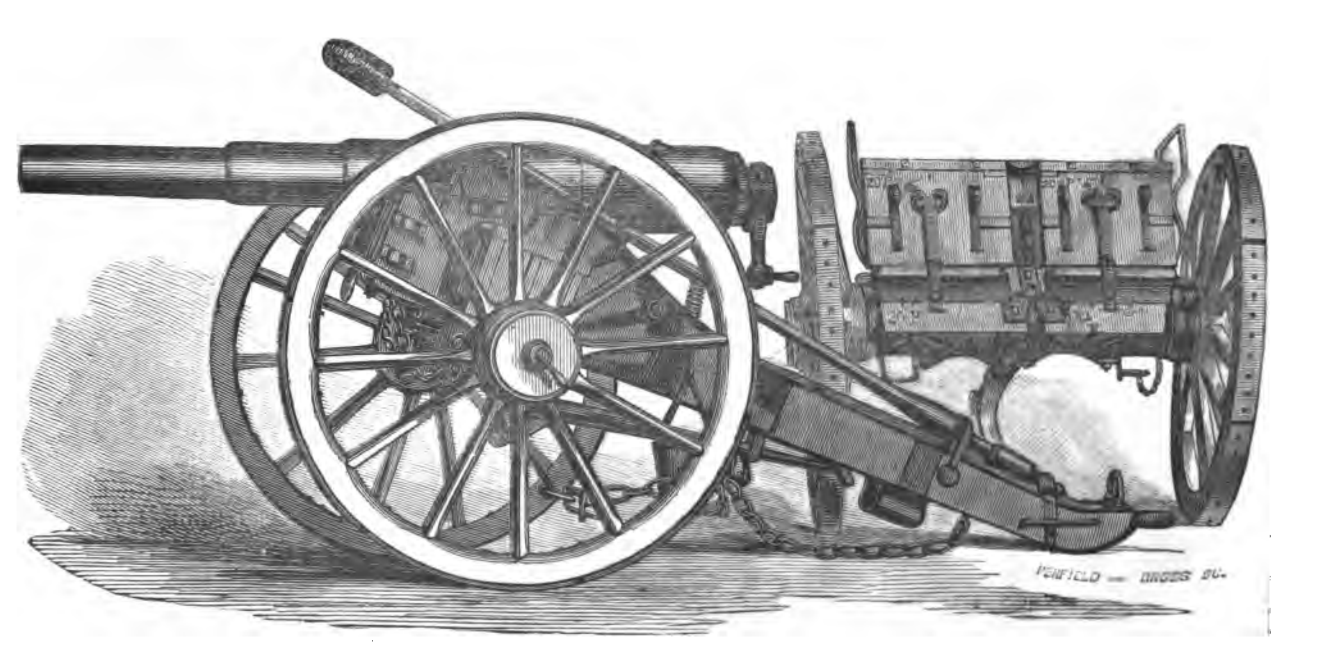


CANON BLAKELY, FER COULÉ ET ACIER.

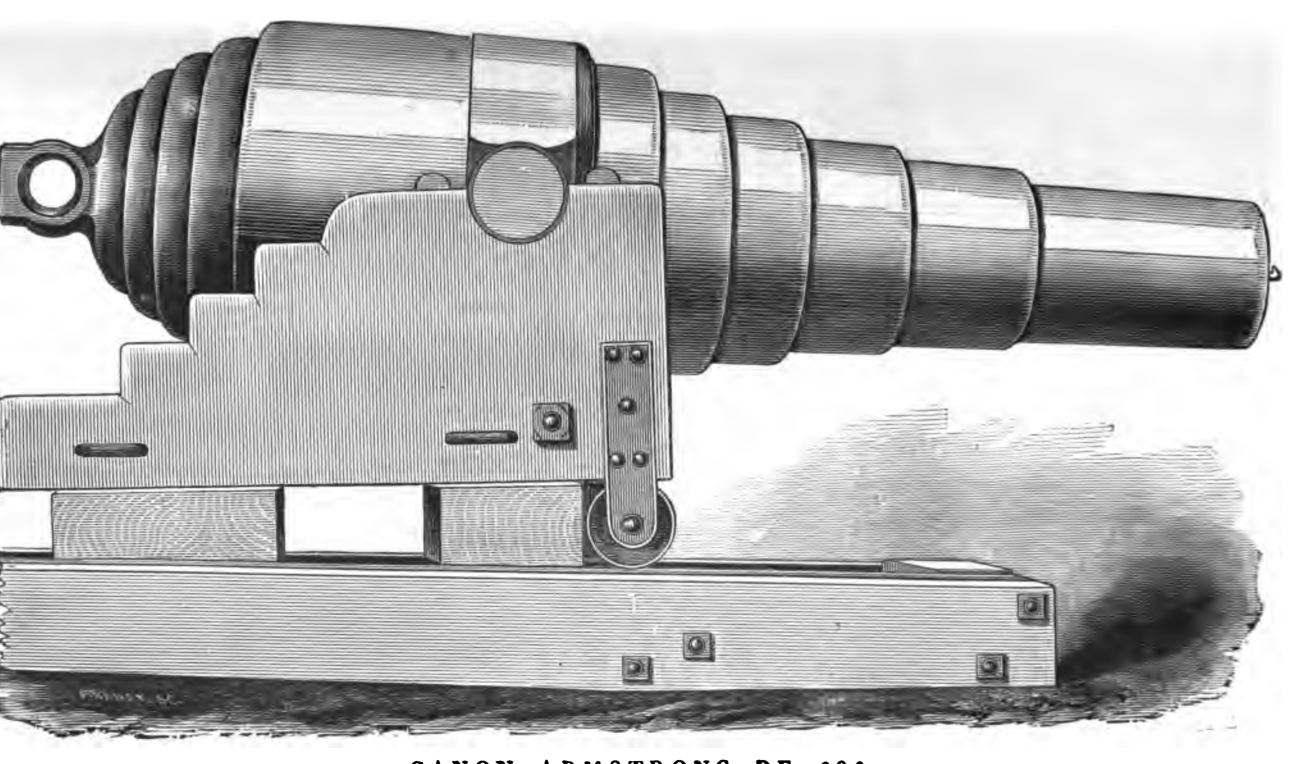
LA GLOIRE.



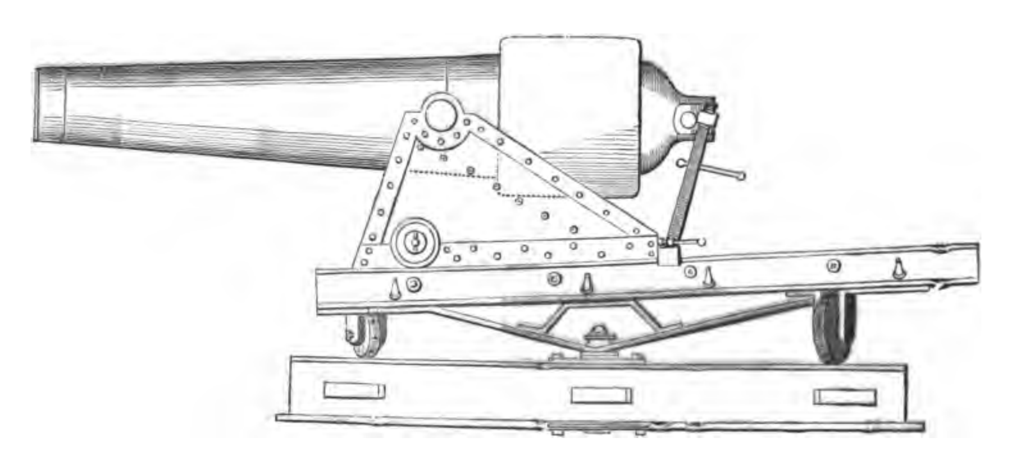
CANON DE CAMPAGNE FRANÇAIS MONTÉ.



CANON ARMSTRONG DE 20 MONTÉ, AVEC AVANT-TRAIN.



CANON ARMSTRONG DE 600.



CAÑON PARROTT DE 100.

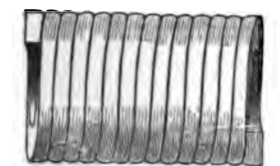
Pl. 1

Fig. 1.



rre de fer pour
lène. Section.

Fig. 2.



Barre de fer lovée pour faire
un cercle. Élévation.

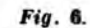


Fig. 6.

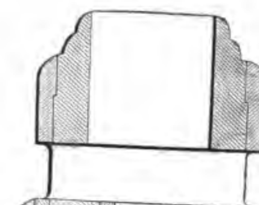
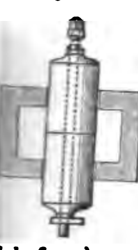


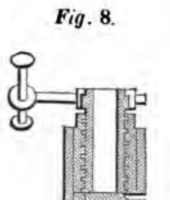
Fig. 4.

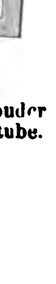


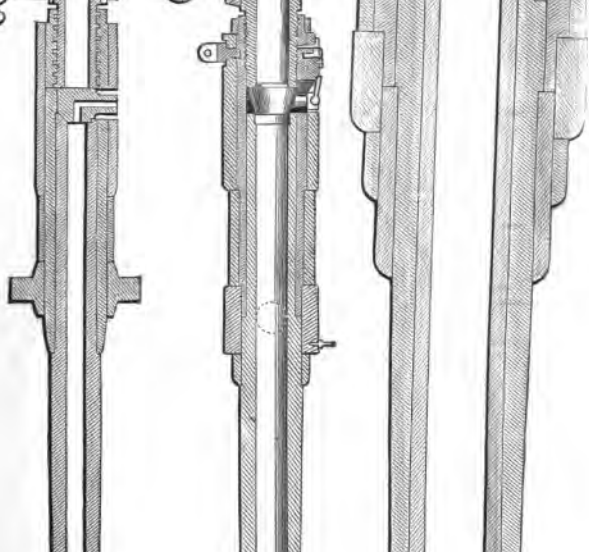
de four à souder
es cercles en tube.
Section.



Fig. 8. *Fig. 7.*







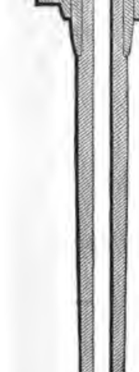
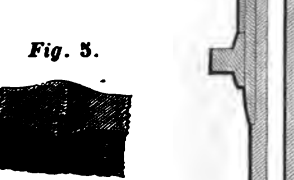


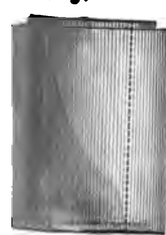
Fig. 5.



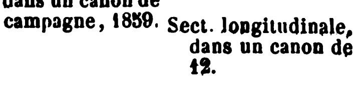


rme de la soudure
Section.

Fig. 3.

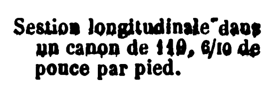


Cercle soudé et à
bord pr s'ajuster à
autres. Élévation.



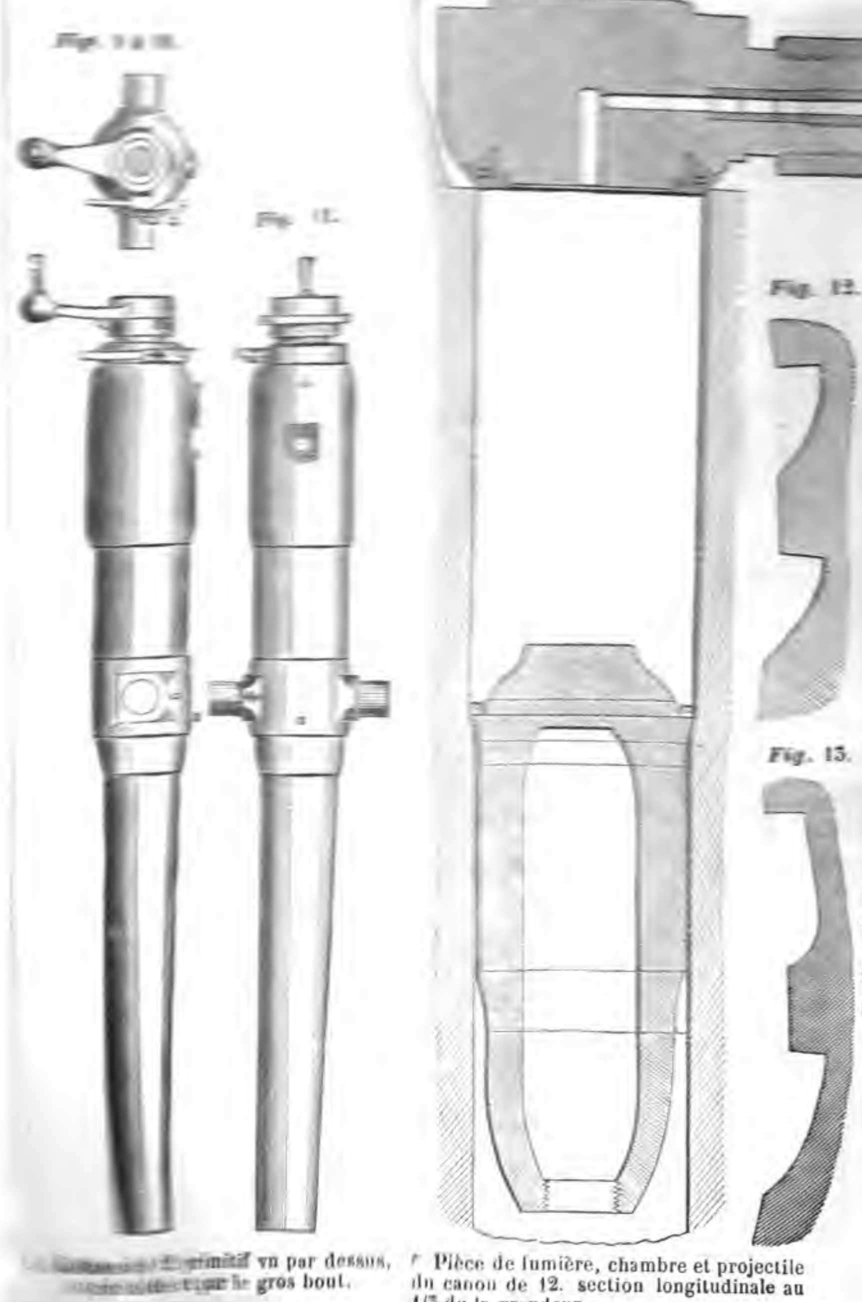
Sect. longitudinale
dans un canon de
campagne, 1859.

Sect. longitudinale,
dans un canon de
12.



Section longitudinale dans
un canon de 119, 6/10 de
pouce par pied.

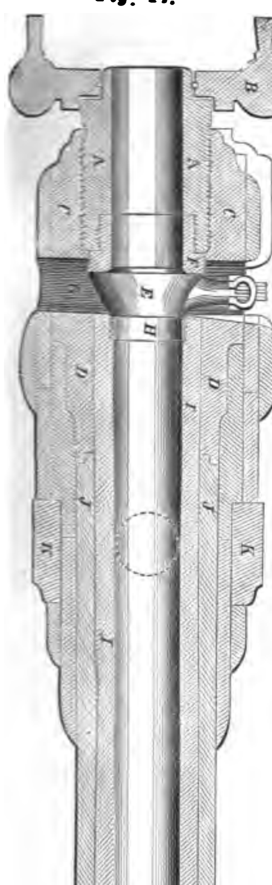
Pl. 2



[illegible] primitif vu par dessous, [illegible] par le gros bout.

Pièce de lumière, chambre et projectile du canon de 12. section longitudinale au 1/3 de la grandeur.

Fig. 17.



Canon de 110, pour montrer la charge de la culasse. section longitudinale, 6/10 pouce par pied.

Fig. 18.

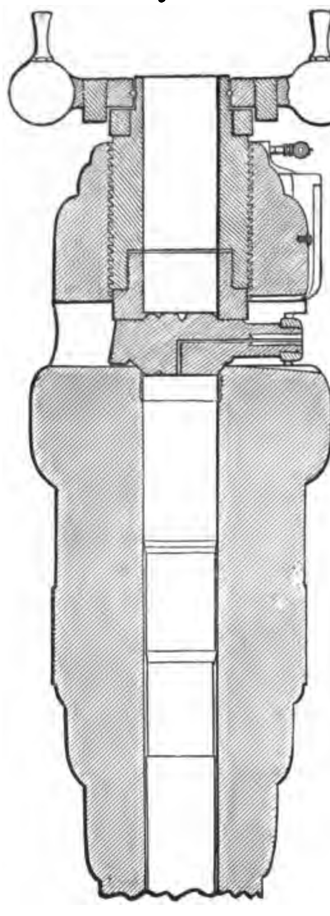
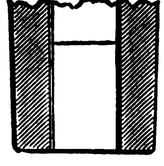


Fig. 15.



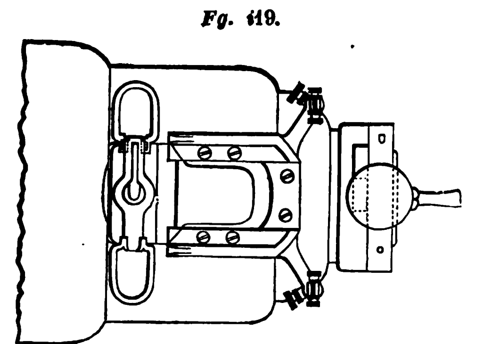
section de l'écrou de la vis de la culasse.



Canon de 110, section longitudinale dans la culasse, 3/4 pouce par pied.

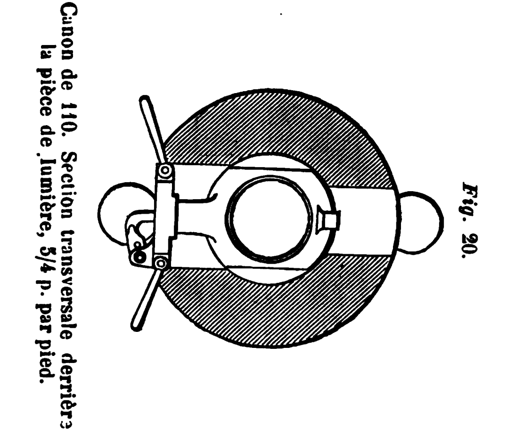
Pl. 4.

Fg. 119.



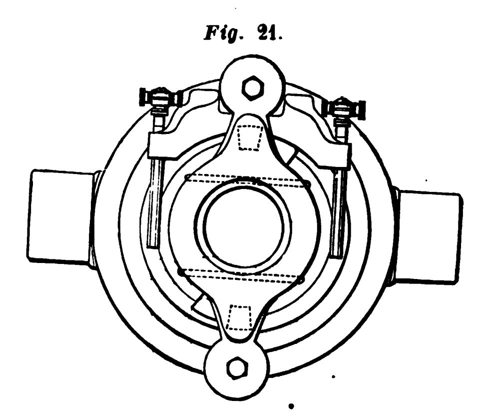
Canon de 100. Vue de la culasse par-dessus, 3/4 pouce par pied.

Fig. 20.



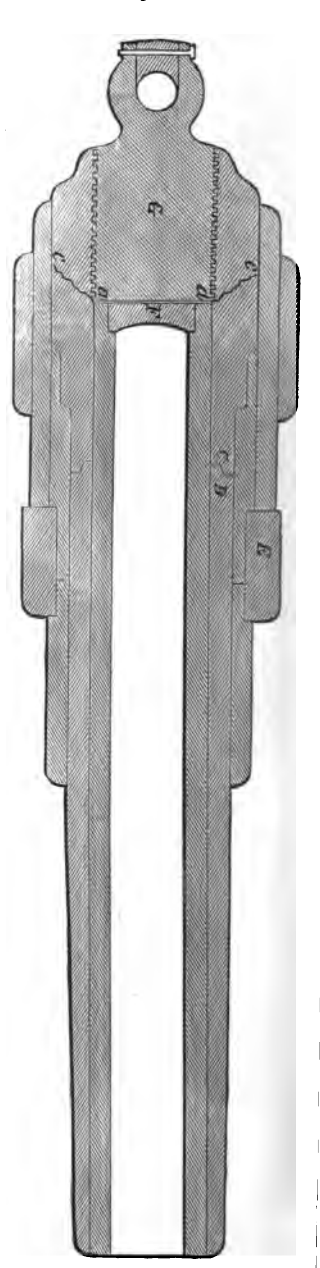
Canon de 110. Section transversale derrière la pièce de lumière, 5/4 p. par pied.

Fig. 21.



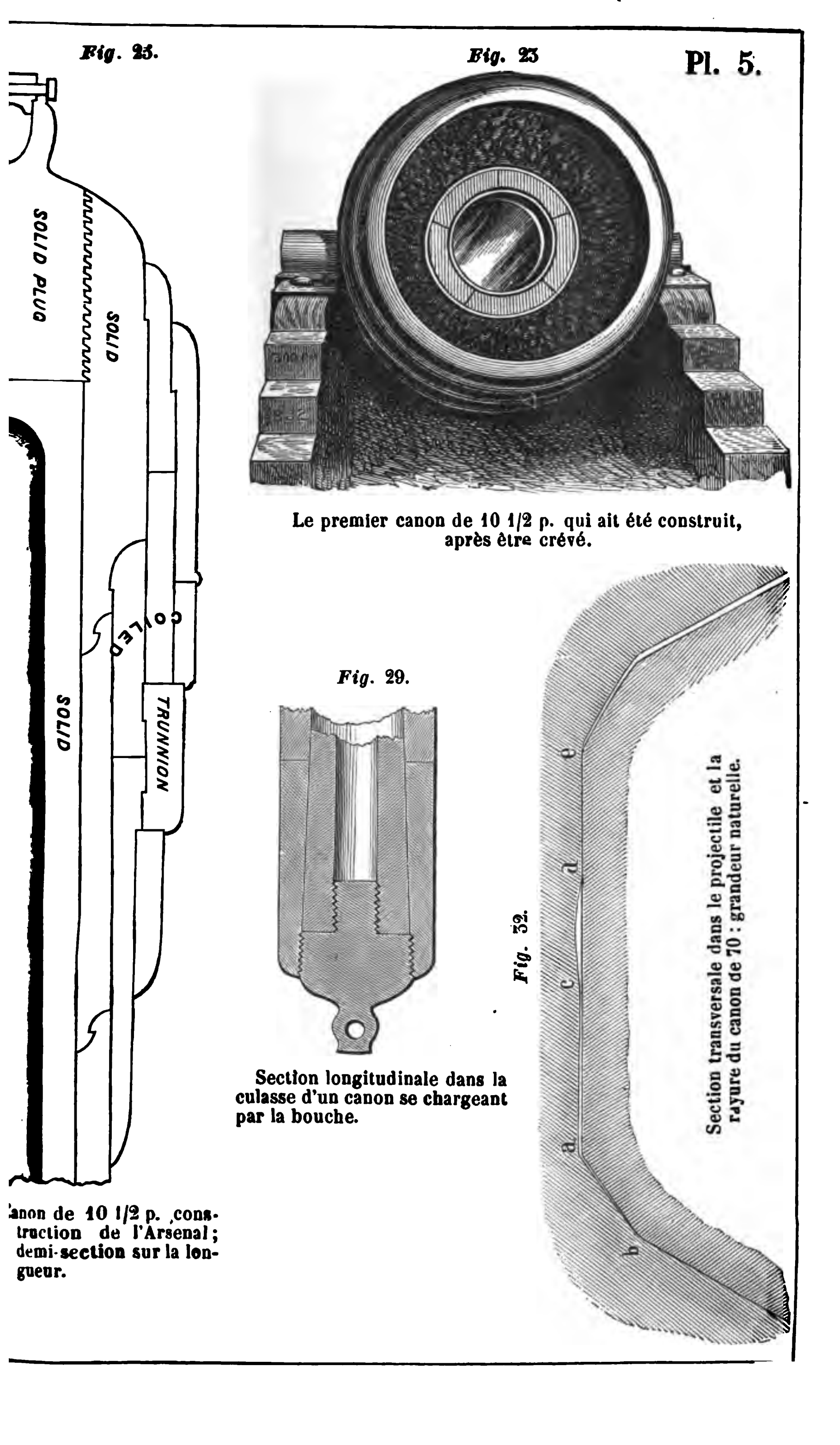
Canon de 110. Vue de la pièce de lumière par l'arrière; élévation arrière, 3/4 p. par pied.

Fig. 22.



Canon 10 1/2 p., de 300 rayé, section longitudinale, 7/16 de pouce par pied.

Pl. 5.



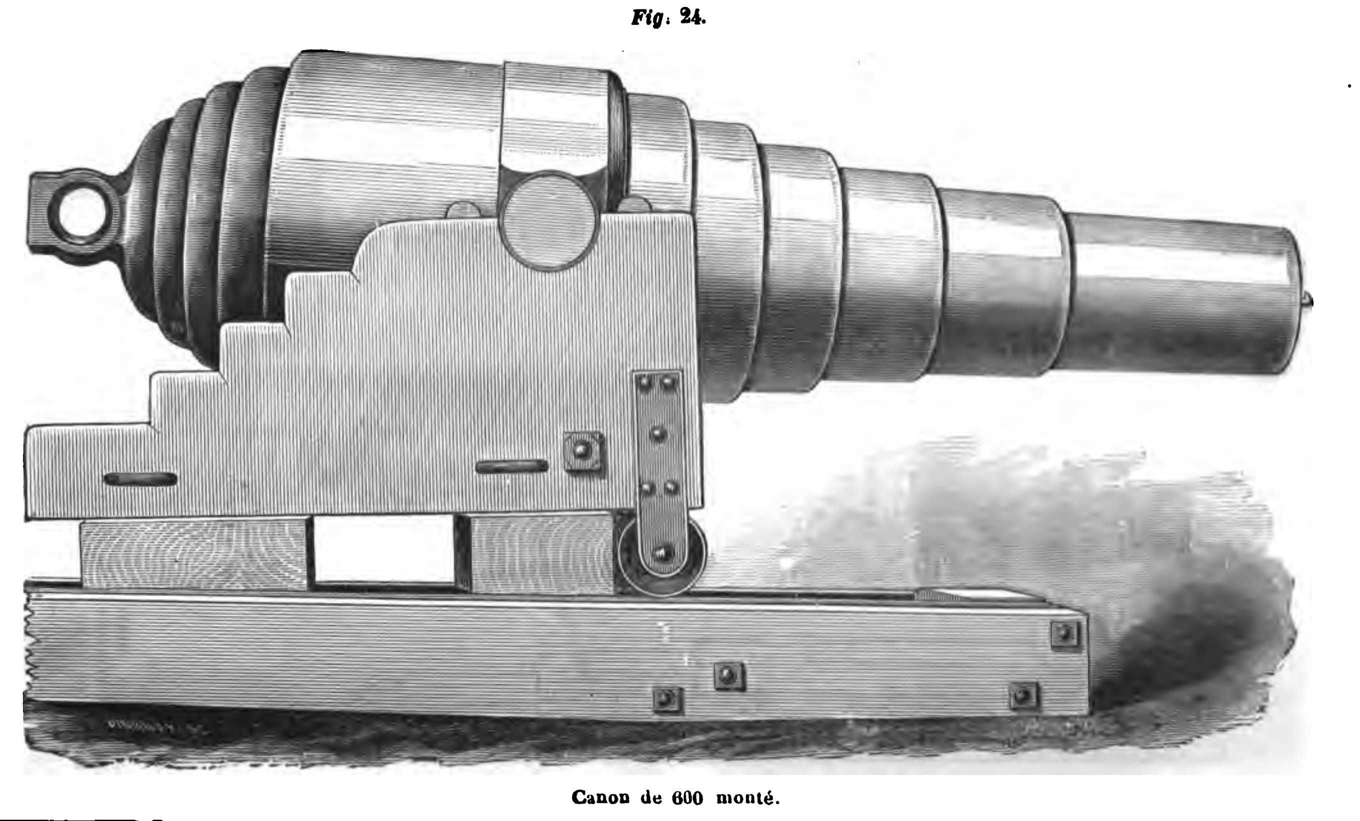
Le premier canon de 10 1/2 p. qui ait été construit, après être crévé.

Section longitudinale dans la culasse d'un canon se chargeant par la bouche.

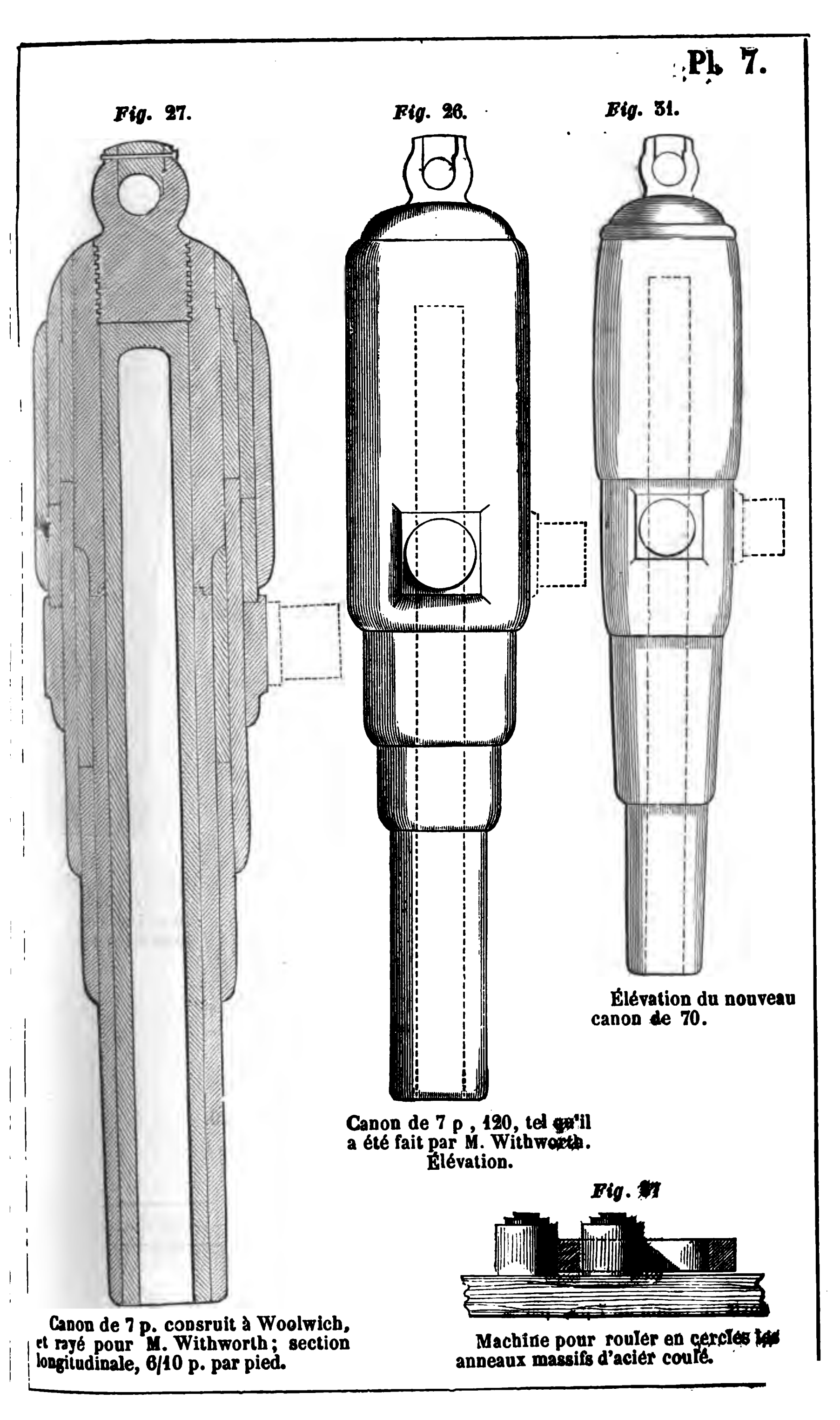
Canon de 10 1/2 p. construction de l'Arsenal; demi-section sur la longueur.

Pl. 6.

Fig. 24.



Canon de 600 monté.



Canon de 7 p. consruit à Woolwich, et rayé pour M. Withworth; section longitudinale, 6/10 p. par pied.

Canon de 7 p, 120, tel qu'il a été fait par M. Withworth. Élévation.

Élévation du nouveau canon de 70.

Machine pour rouler en cercles les anneaux massifs d'acier coulé.

Pl. 8.

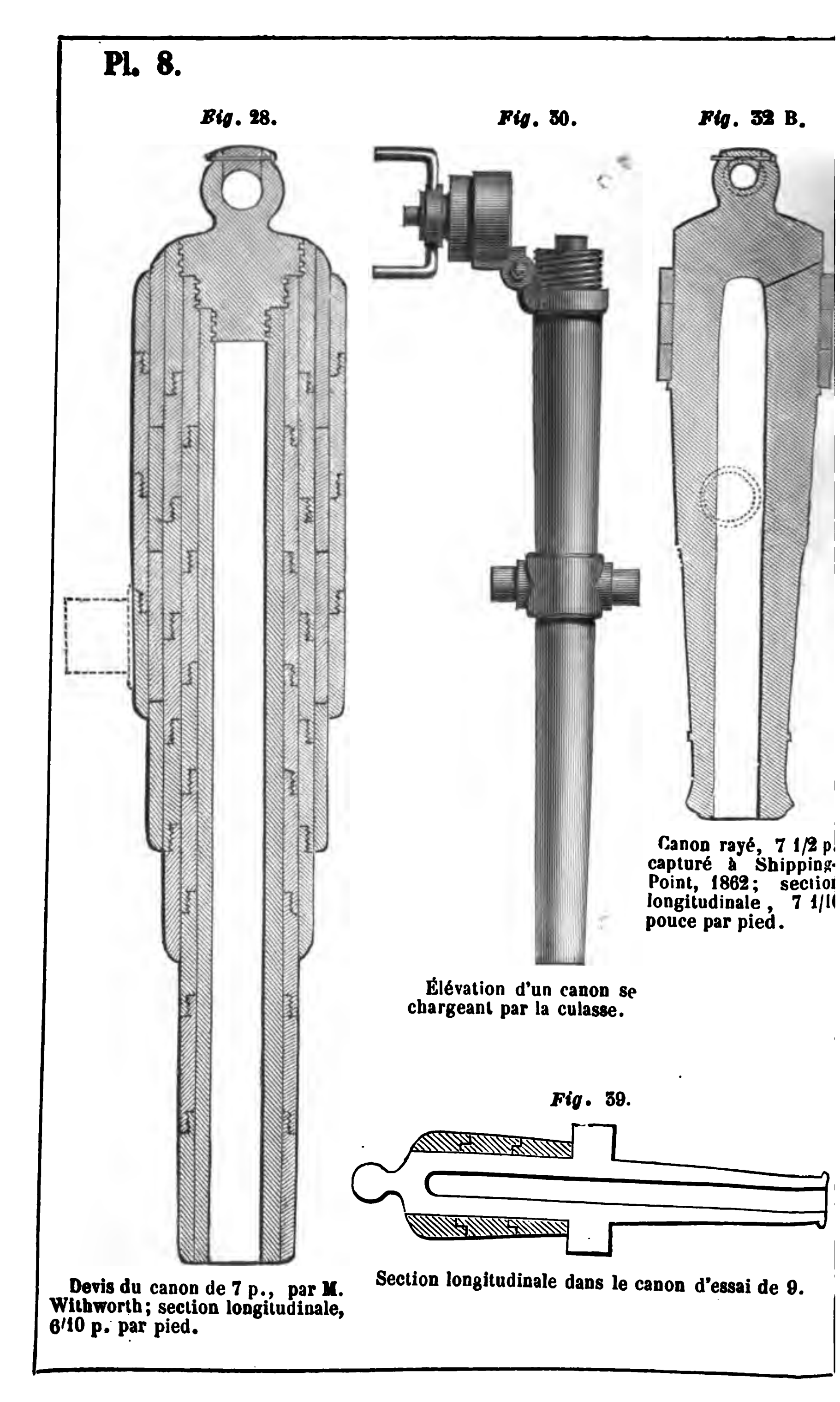


Fig. 28.

Devis du canon de 7 p., par M. Withworth; section longitudinale, 6/10 p. par pied.

Fig. 30.

Élévation d'un canon se chargeant par la culasse.

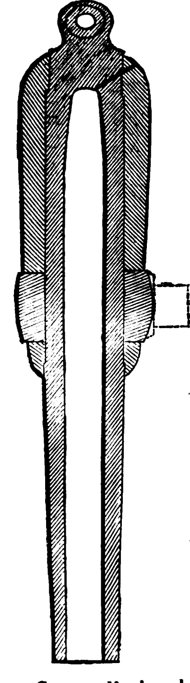
Fig. 32 B.

Canon rayé, 7 1/2 p. capturé à Shipping-Point, 1862; section longitudinale, 7 1/10 pouce par pied.

Fig. 39.

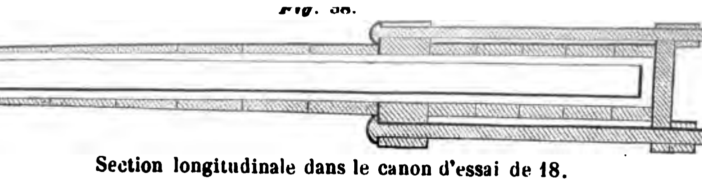
Section longitudinale dans le canon d'essai de 9.

Fig. 33.



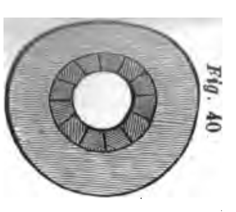
Canon d'acier de 5;8p., section longitudinale 7/16 par pied.

Fig. 38.



Section longitudinale dans le canon d'essai de 18.

Fig. 40



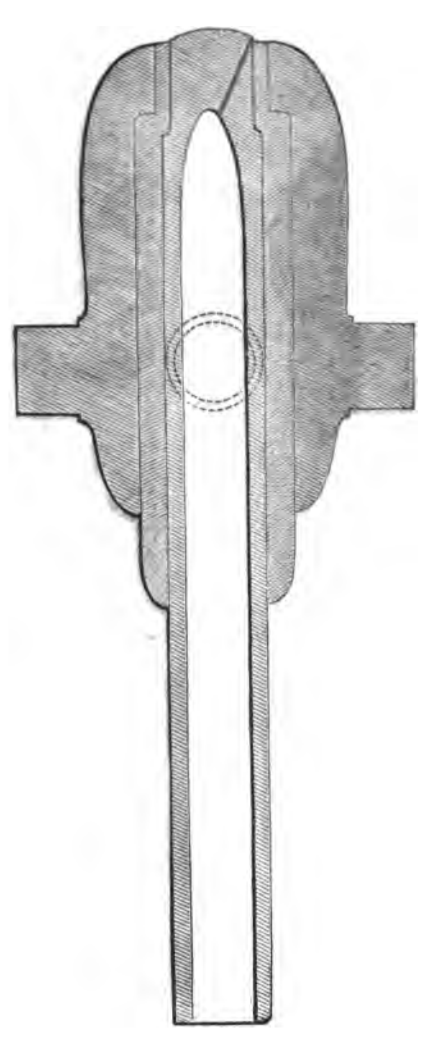
Canon en fer forgé de Dundas, pour expérces, section transversale.

Fig 32 A.

Canon 8 9/16 p., de la grande Exposition de 1862.

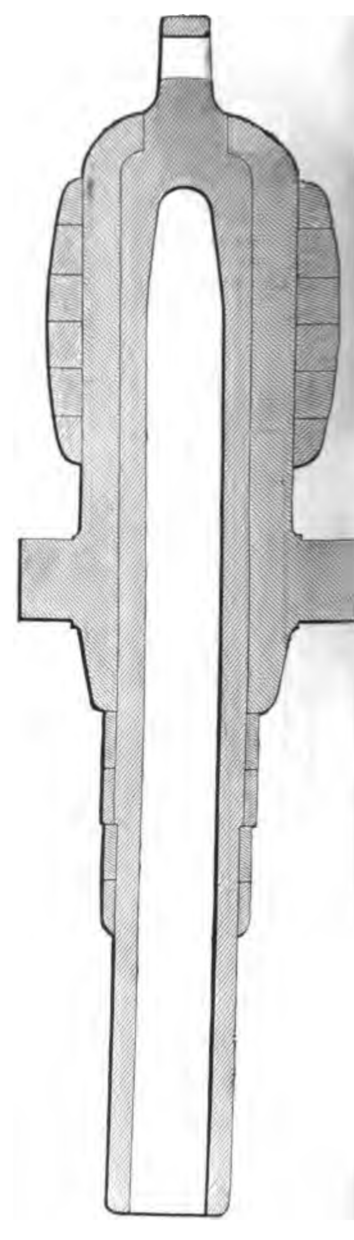
Pl. 10.

Fig. 32 C.



Canon rayé de 9 p., âme et acier inférieur, cerclé en acier fin et fer coulé; section longitudinale, 7/16 p. par pied.

Fig. 32 D.



Canon en acier de 8 p., 200; section longitudinale 6/10 p. par pied.

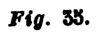


Fig. 35.

Fig. 34.

Canon rayé de 900, 12 3/4 p., envoyé à Charleston, section longitudinale, 7/16 p. par pied.

Canon rayé de 11 p. pour la Russie; section longitudinale, 7/16 p. par pied.

Fig. 36.

Rayure du canon de 9 p.; section transversale, grandeur naturelle.

Pl. 12.

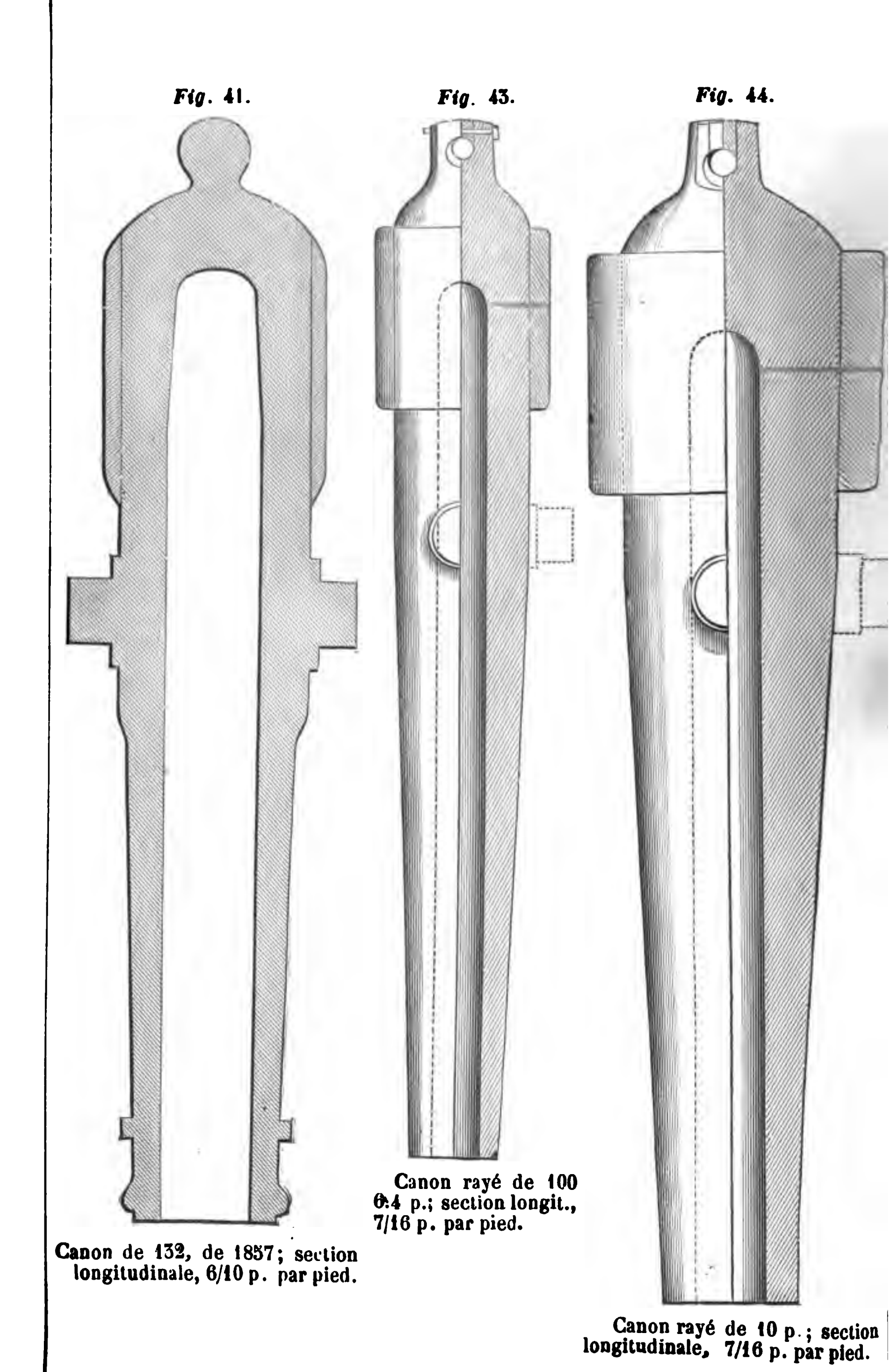
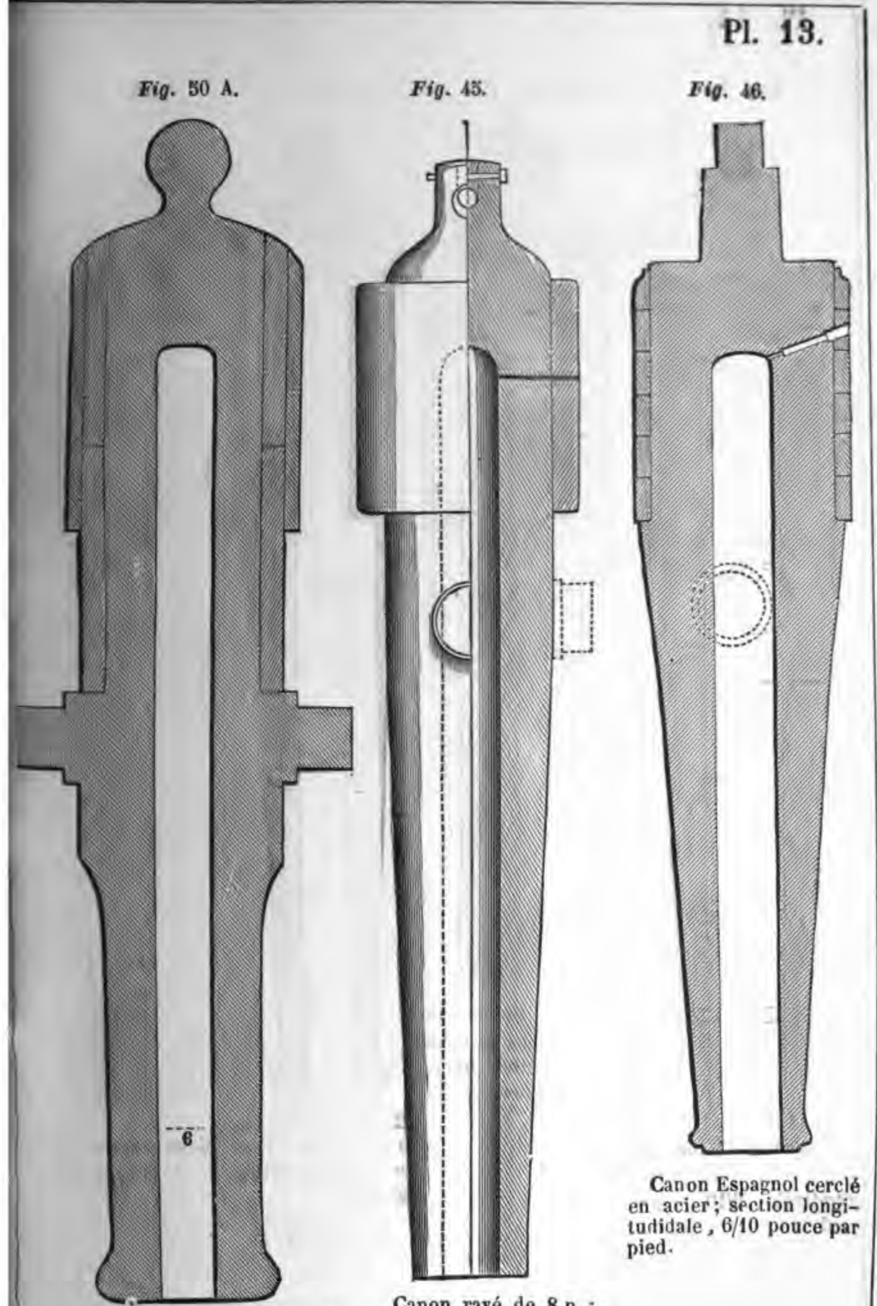


Fig. 41. Canon de 132, de 1857; section longitudinale, 6/10 p. par pied.

Fig. 43. Canon rayé de 100 6.4 p.; section longit., 7/16 p. par pied.

Fig. 44. Canon rayé de 10 p.; section longitudinale, 7/16 p. par pied.

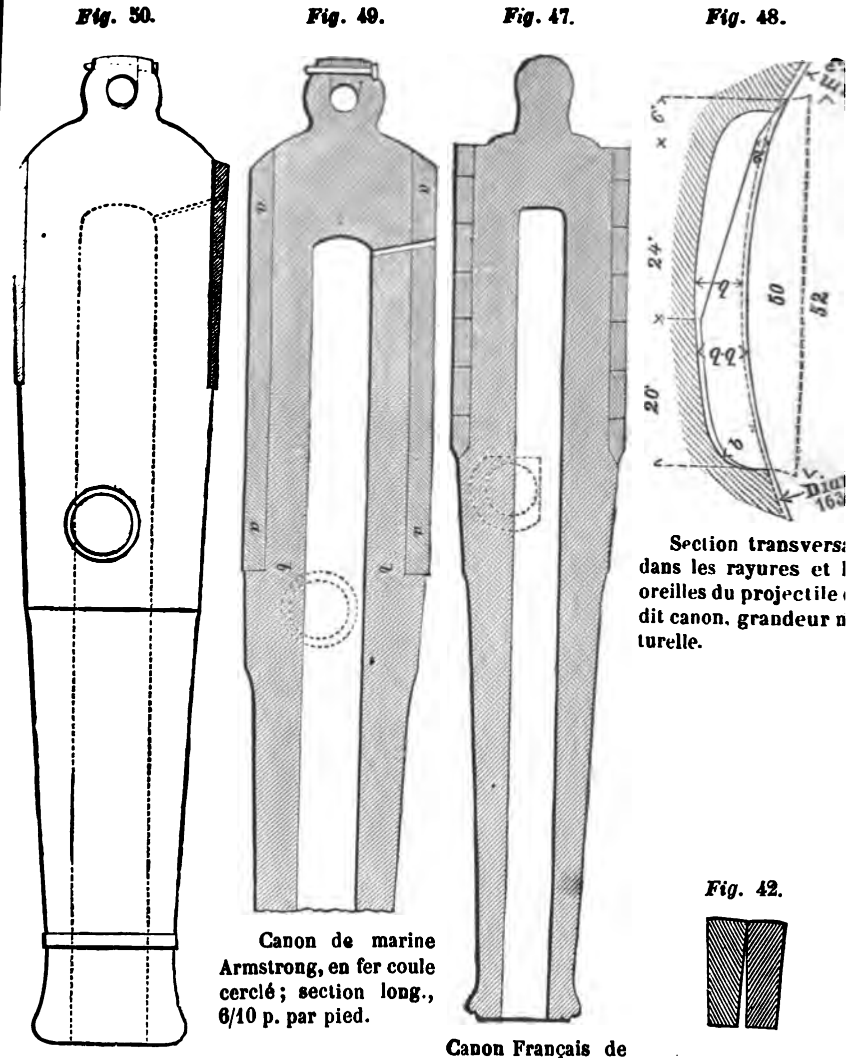


Canon Armstrong, de 70, en fer coulé, de 1860; section longit., 6/10 pouce par pied.

Canon rayé de 8 p.; section longit., 7/16 p. par pied.

Canon Espagnol cerclé en acier; section longitudidale, 6/10 pouce par pied.

Pl. 14.



Canon de marine Armstrong, en fer coule cerclé; section long., 6/10 p. par pied.

Section transversa[le] dans les rayures et l[es] oreilles du projectile [du] dit canon, grandeur n[a]turelle.

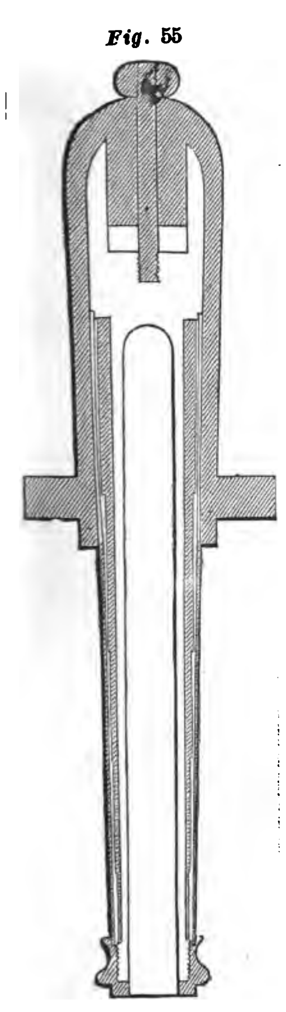
Fig. 42.

Canon de 68 cerclé à Woolwich; section longitudinale, 6/10 p. par pied.

Canon Français de 30 cerclé en acier; section long., 6/10 p. par pied.

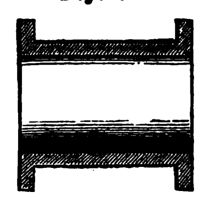
Comment la glène es[t] lovée ; section.

Fig. 55



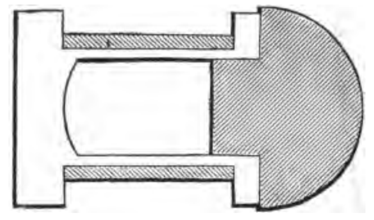
Canon de 2.96 po. en fil de fer tourné, de M. Longridge pour expériences. Section longitudinale.





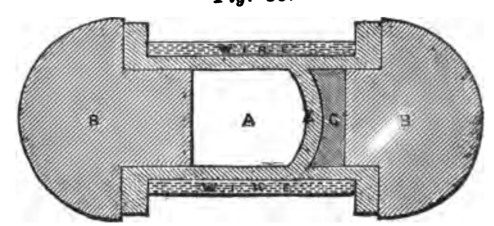
Cylindre en bronze de M. Longridge, pour expériences. Section longitudinale.

Fig. 54.



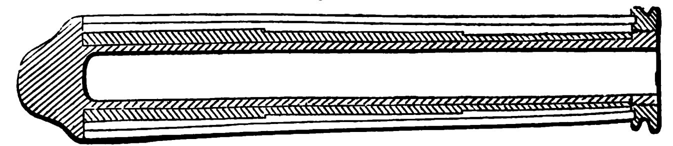
Autre cylindre de M. Longridge, pour essais. Section longitudinale.

Fig. 53.



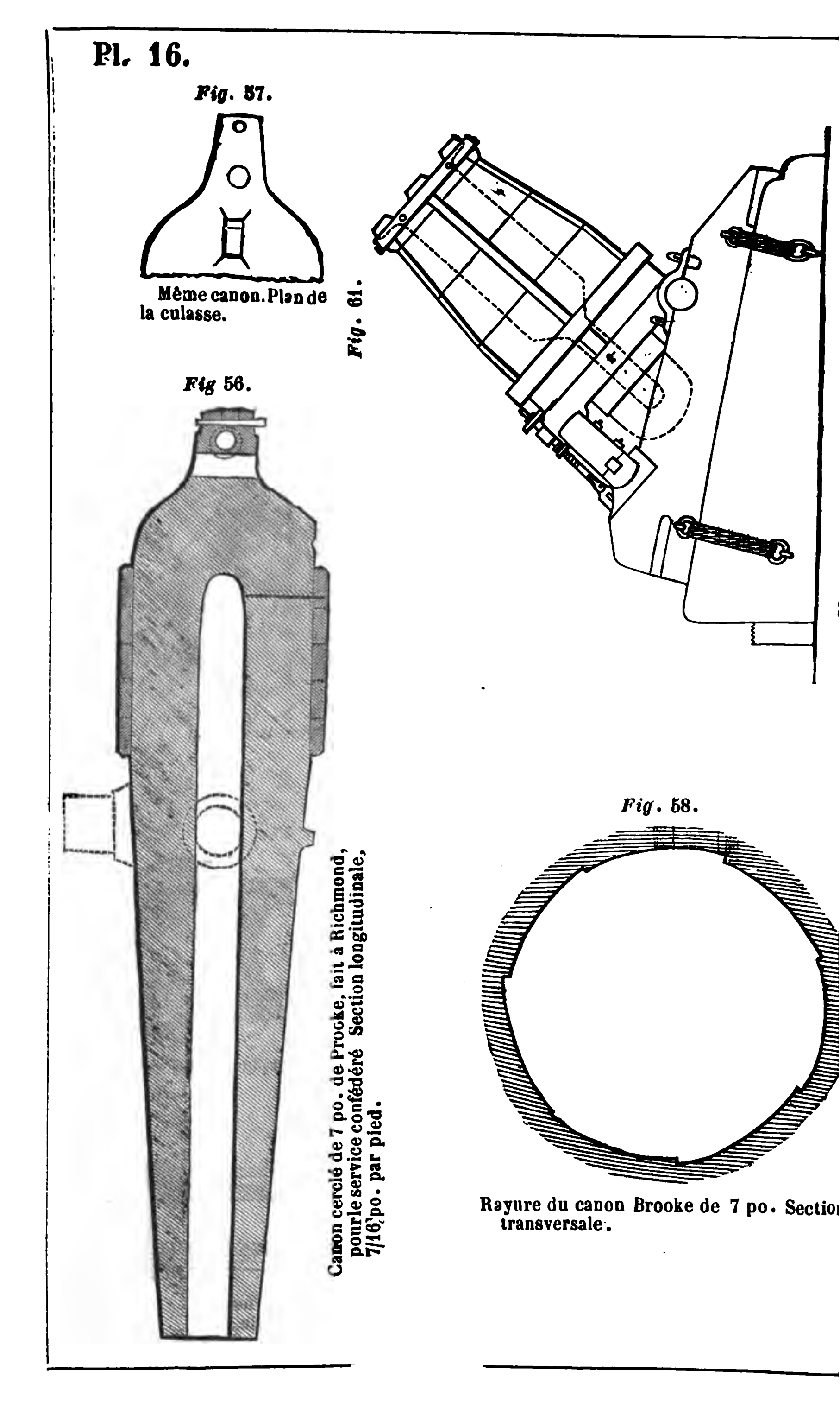
Cylindre de M. Longridge, pour essais. Section longitudinale.

Fig. 52.



Canon de 3 de M. Longridge avec fil de fer tourné, pour expériences. Section longitudinale.

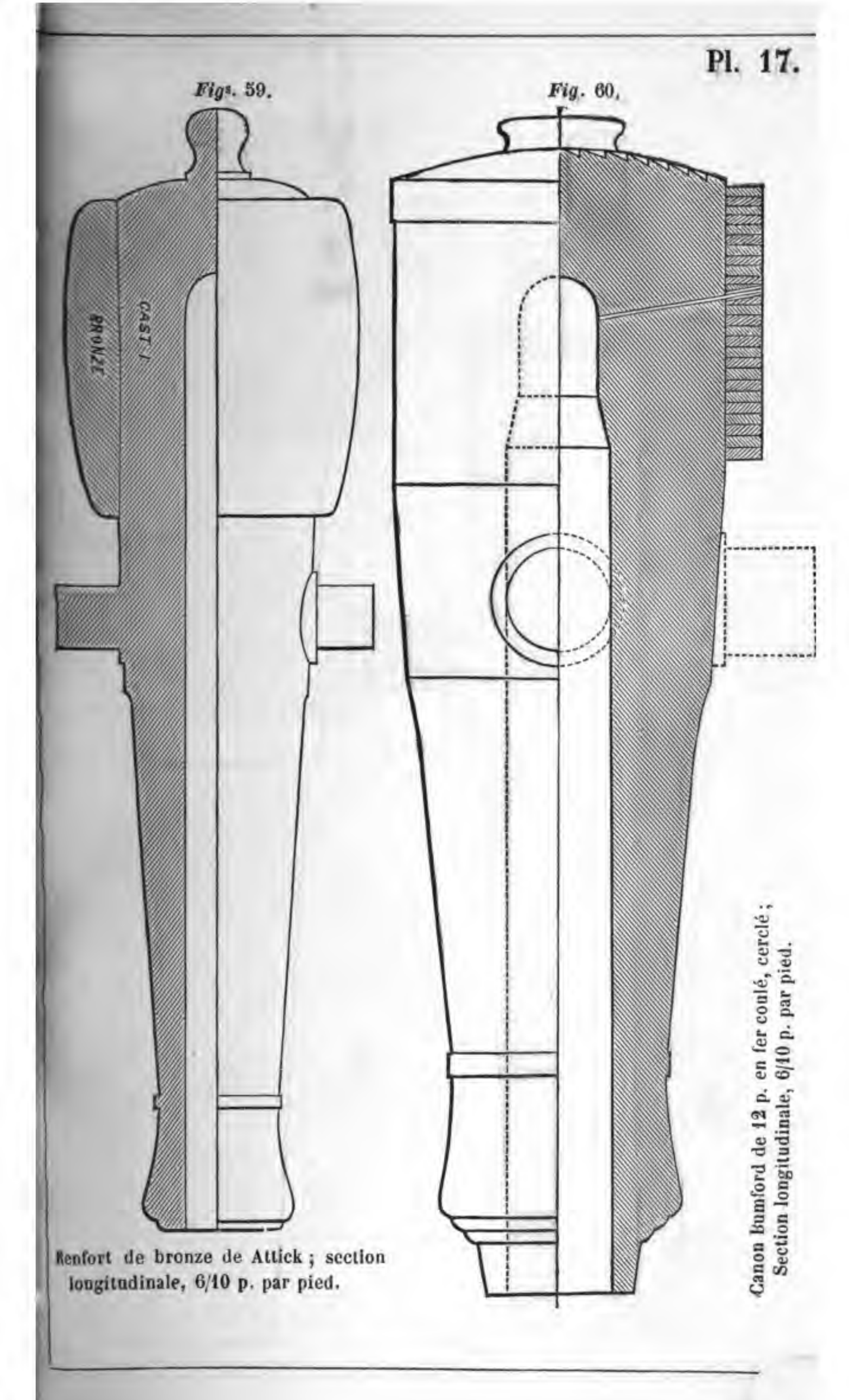
Pl. 16.



Même canon. Plan de la culasse.

Canon cerclé de 7 po. de Brooke, fait à Richmond, pour le service confédéré Section longitudinale, 7/16 po. par pied.

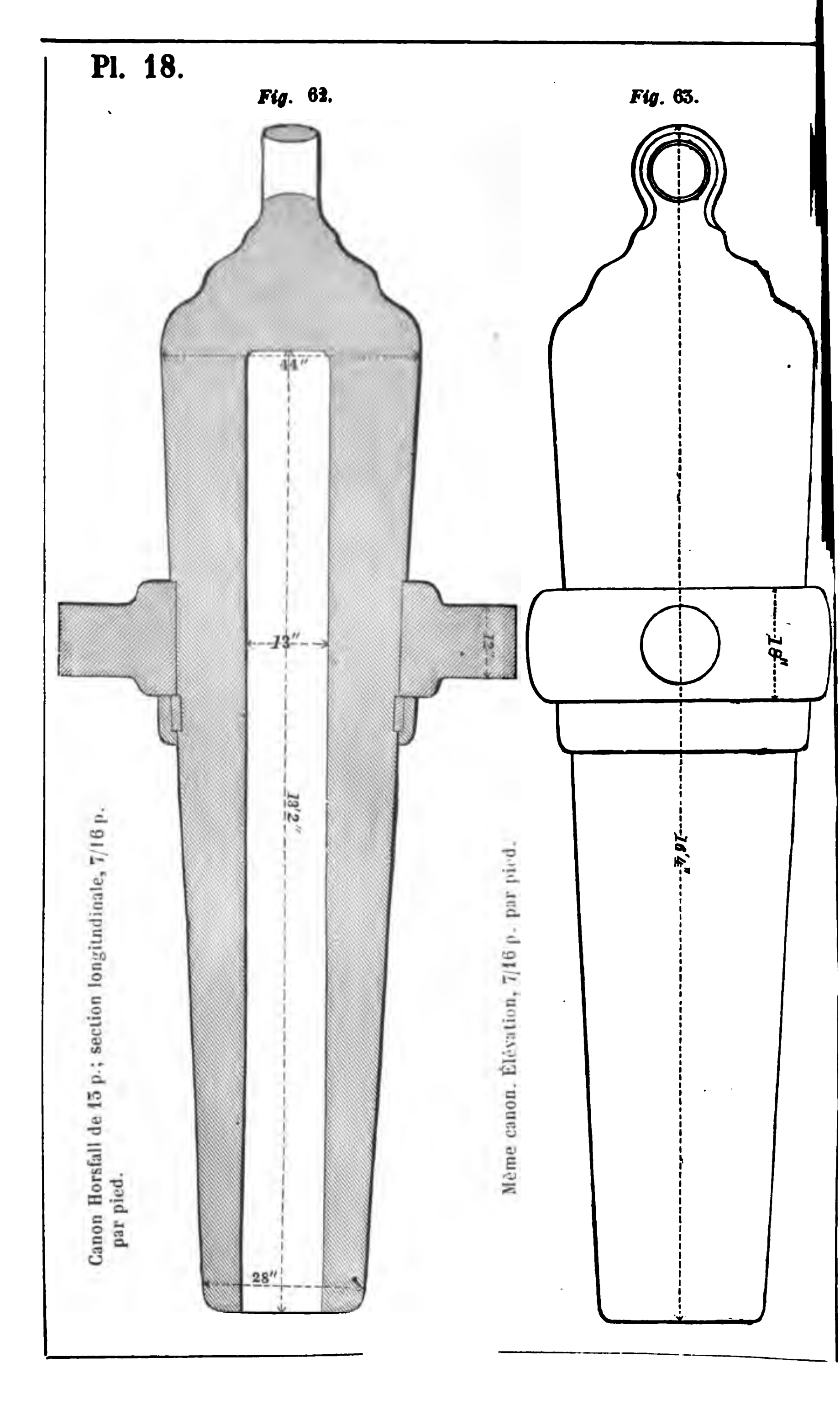
Rayure du canon Brooke de 7 po. Section transversale.



Renfort de bronze de Attick ; section longitudinale, 6/10 p. par pied.

Canon Bumford de 12 p. en fer coulé, cerclé ; Section longitudinale, 6/10 p. par pied.

Pl. 18.



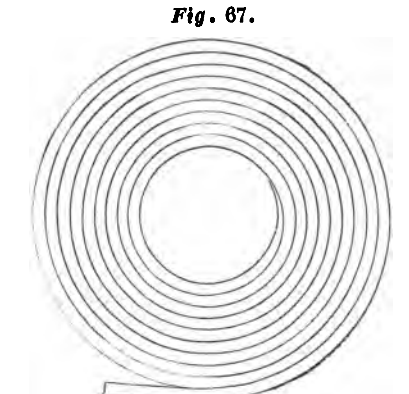
Canon Horsfall de 13 p.; section longitudinale, 7/16 p. par pied.

Même canon. Élévation, 7/16 p. par pied.

Fig. 64

Canon Horsfall de 13 po. Section transversale dans le massif de fer forgé.

Fig. 67.

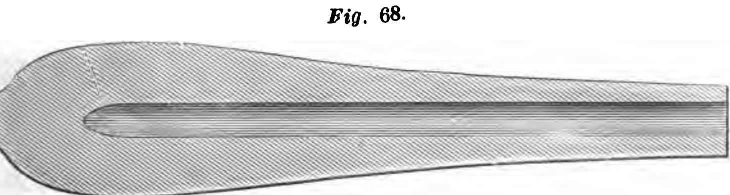


Canon Lynal-Thomas de 7 po., mode de fabricatioln. Section transversale.

Fig. 75.

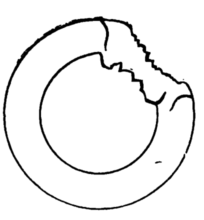
Canon Bessemer en acier; section longitudinale, 6/10 p. par pied.

Fig. 68.



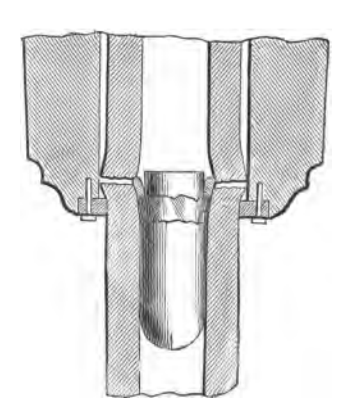
Canon Ames de 50 ; section longitudinale, 7/16 p. par pied.

Fig. 72.



Canon Kruppe de 12 p., après avoir été frappé par un boulet; section longitudinale.

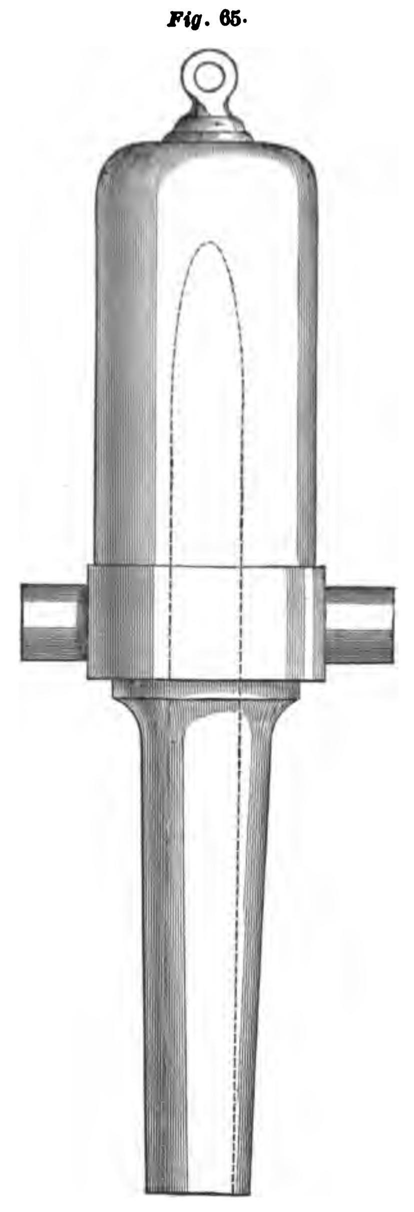
Fig. 74.



Le même canon après sa fracture; section longitudinale.

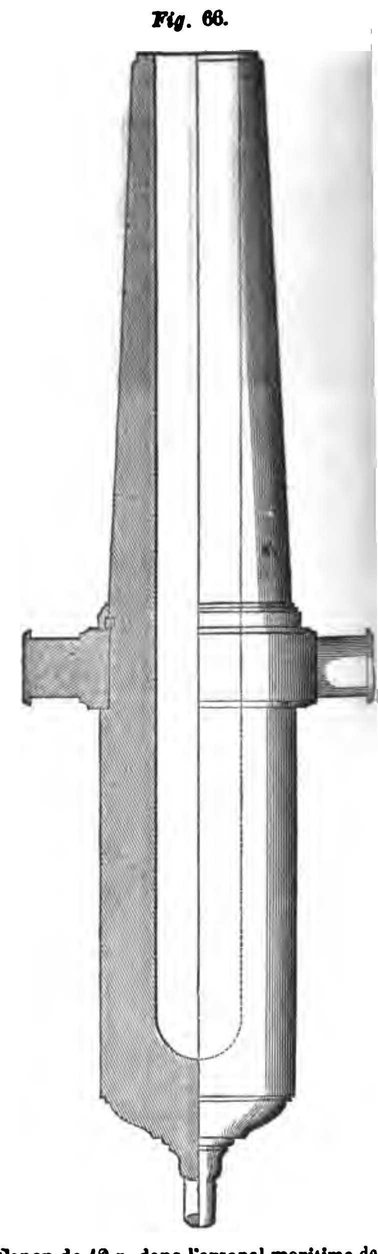
Pl. 20.

Fig. 65.



Canon « Prince-Alfred », fer forgé creux; élévation, 7/16 p. par pied.

Fig. 66.



Canon de 12 p. dans l'arsenal maritime de Brooklyn; section longitudinale, 7/16 pouce par pied.

Fig. 69.

Fig. 70.

Fig. 71.

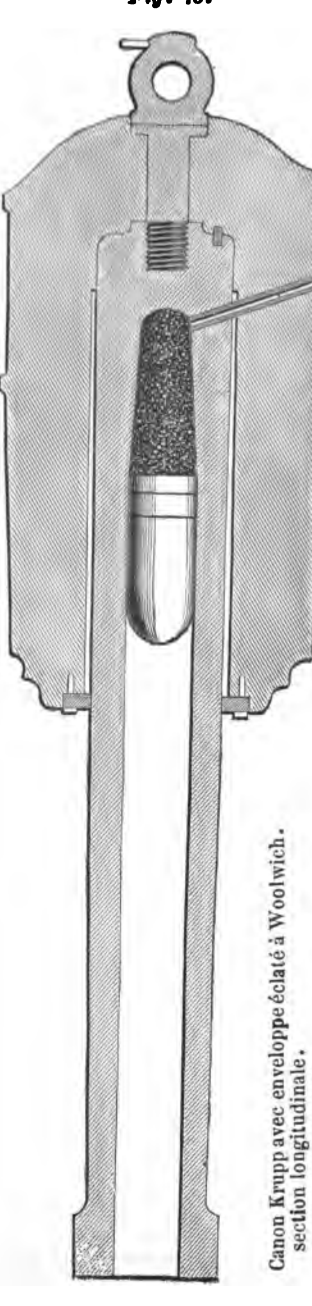
Canon Krupp de 9 po. à l'Exposition de 1862. Section longitudinale, 7/16 po. par pied.

Plan du canon de la fig. 69, 7/16 po. par pied.

Canon Krupp de 9 po. pour la Russie. section longitudinale, 7/16 p. par pied

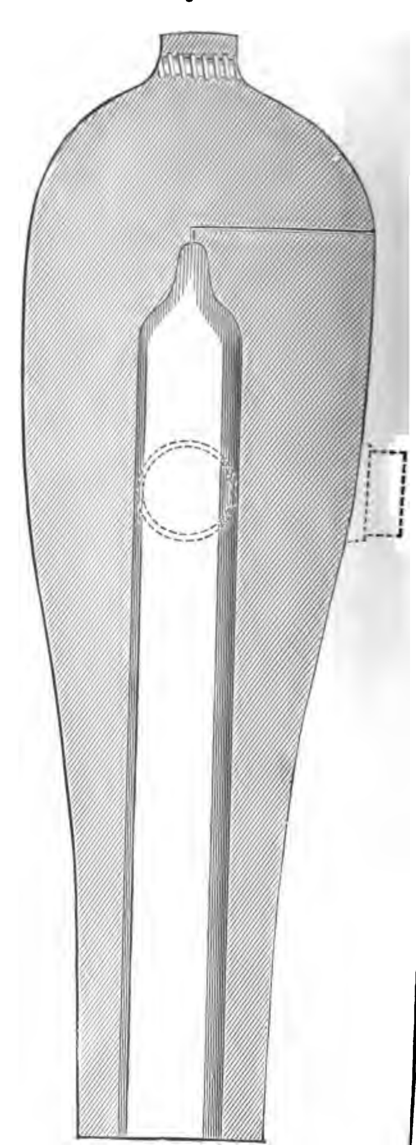
Pl. 22.

Fig. 73.



Canon Krupp avec enveloppe éclaté à Woolwich.
section longitudinale.

Fig. 81.



Canon de 15 po., de la marine des États-Unis. section longitudinale, 7/16 p. par pied.



Fig. 78.

Canons de 13 p., de l'Armée et de la Marine des États-Unis. section longitudinale, 7/16 po. par pied.

Fig. 79.

Colombiade de 10 po. de l'armée des Etats-Uuis. Section longitudinale, 7/16 po. par pied.

Fig. 80.

Canon de siége rayé de 4.2 po. de l'armée des Etats Unis. section longitudinale 7/16 po. par pied.

Pl. 24.

***Fig.* 76.**

Canon de 68 anglais 8 po., mis sur la colombiade de 8 po. des États-Unis. Demi-section longitudinale de chaque canon 7/16 po. par pied.

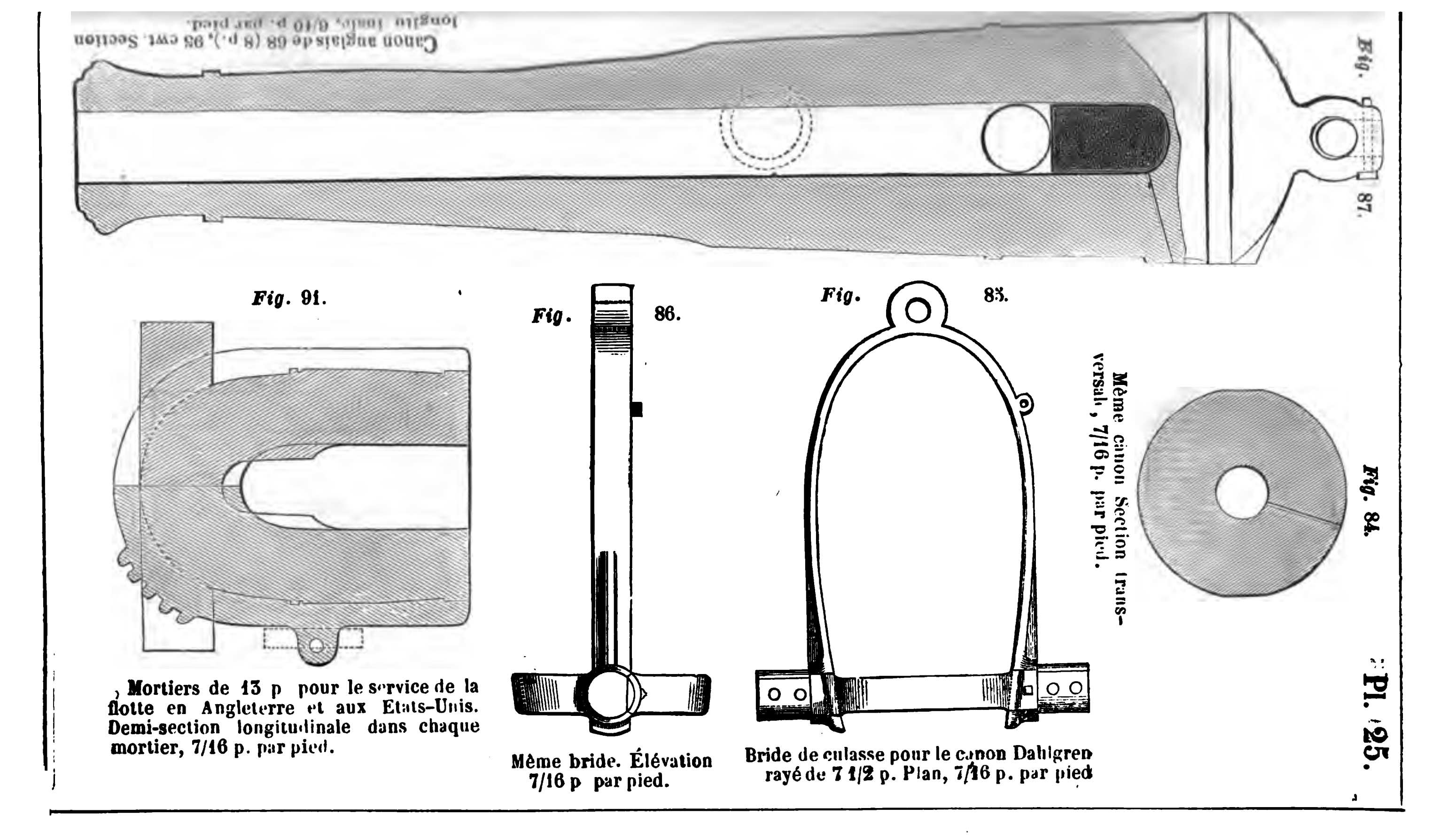
***Fig.* 82.**

Canon Dahlgren de 11 po. de la marine des Etats-Unis. Section longitudinale, 7/16 p. par pied.

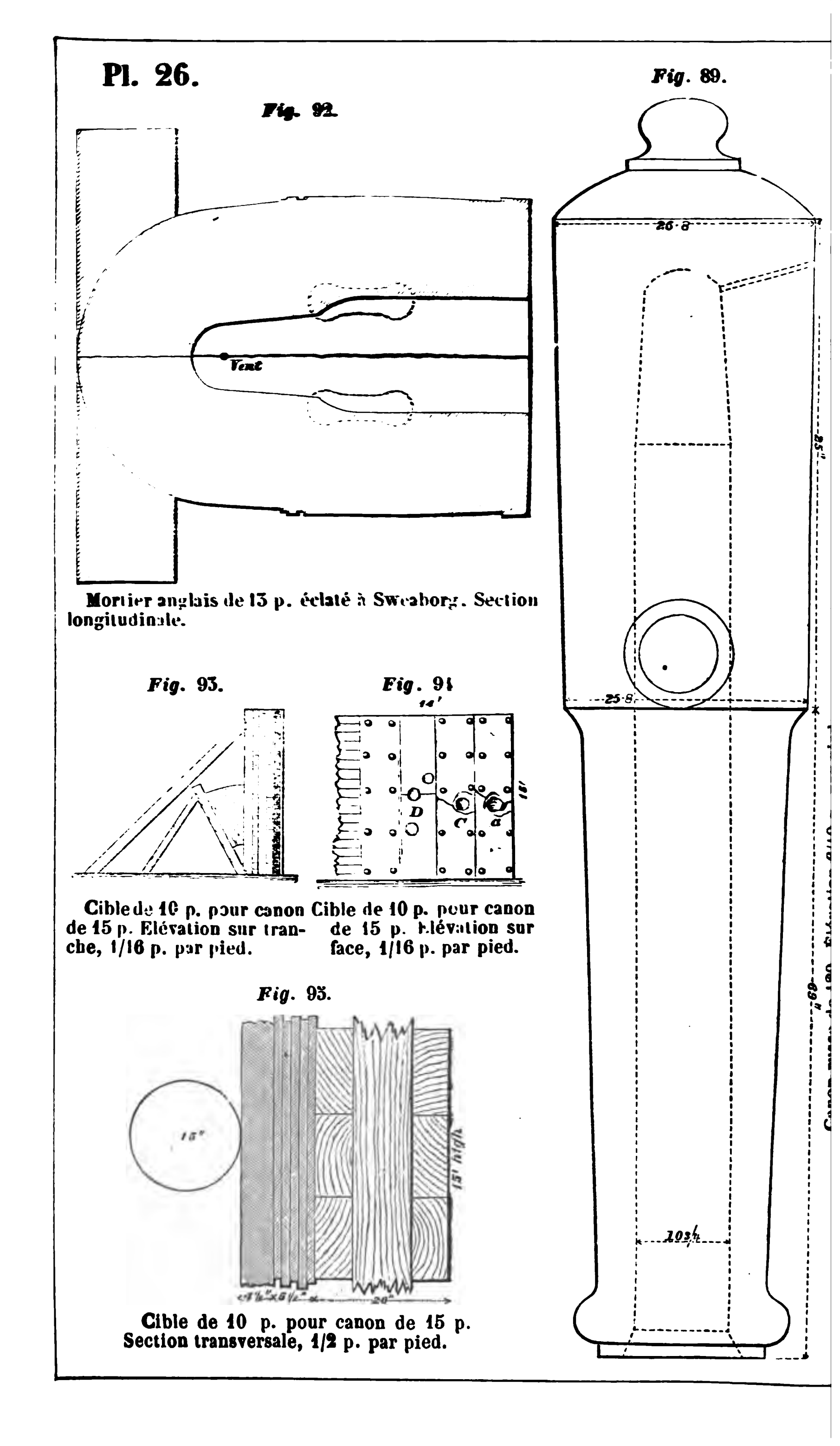
***Fig.* 83.**



Canon rayé Dahlgren de 7 1/2 po. de la marine des États-Unis. Section longitudinale, 7/16 po. par pied.


Canon anglais de 68 (8 p.), 95 cwt. Section longitudinale, 6/10 p. par pied.
Fig. 87.
Fig. 91.
Mortiers de 13 p pour le service de la flotte en Angleterre et aux Etats-Unis. Demi-section longitudinale dans chaque mortier, 7/16 p. par pied.
Fig. 86.
Même bride. Élévation 7/16 p par pied.
Fig. 85.
Bride de culasse pour le canon Dahlgren rayé de 7 1/2 p. Plan, 7/16 p. par pied.
Même canon Section transversale, 7/16 p. par pied.
Fig. 84.
Pl. 25.

Pl. 26.



Mortier anglais de 13 p. éclaté à Sweaborg. Section longitudinale.

Cible de 10 p. pour canon de 15 p. Elévation sur tranche, 1/16 p. par pied.

Cible de 10 p. pour canon de 15 p. Elévation sur face, 1/16 p. par pied.

Cible de 10 p. pour canon de 15 p. Section transversale, 1/2 p. par pied.

Fig. 90.

28

27

24

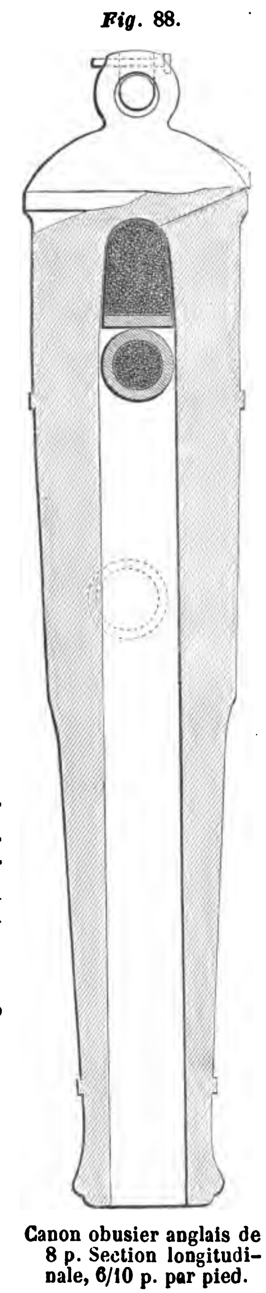
22

18

7.65"

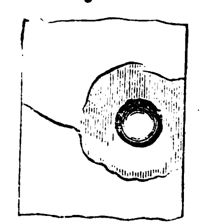
Canon russe de 56. Section longitudinale, 6/10 p. par pied

Fig. 88.



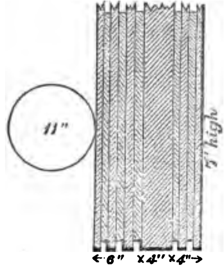
Canon obusier anglais de 8 p. Section longitudinale, 6/10 p. par pied.

Fig. 96.



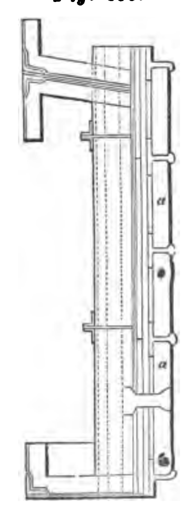
Cible de 10 p. frappée par un boulet de 11 p. Élévation de face.

Fig. 97.

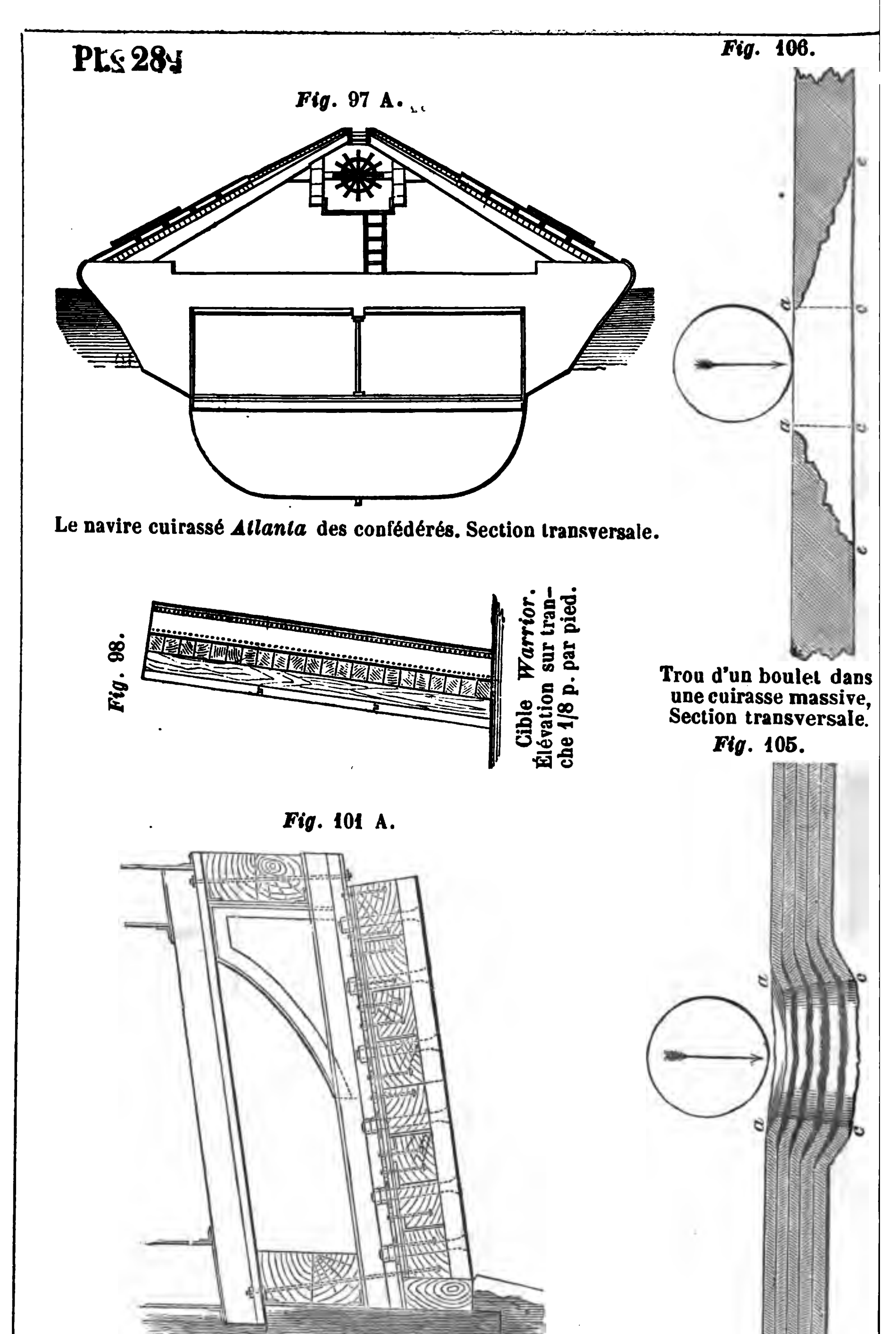


Cible Ericsson de 14 p. Section transversale.

Fig. 100.



Même cible. Section transversale 1/4 p. par pied.



Le navire cuirassé *Atlanta* des confédérés. Section transversale.

Cible *Warrior*. Élévation sur tranche 1/8 p. par pied.

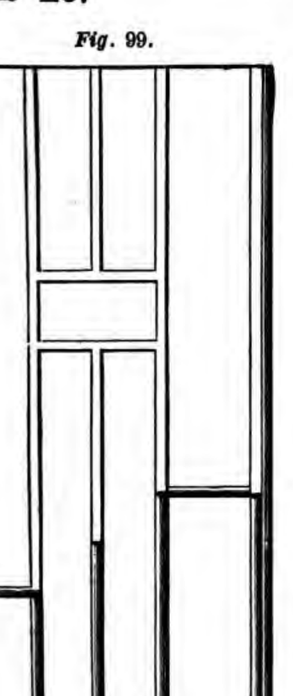
Trou d'un boulet dans une cuirasse massive, Section transversale.

Cible *Bellérophon*. Section transversale, 1/4 p. par pied.

Action d'un boulet à travers une cuirasse laminée. Section transversale.

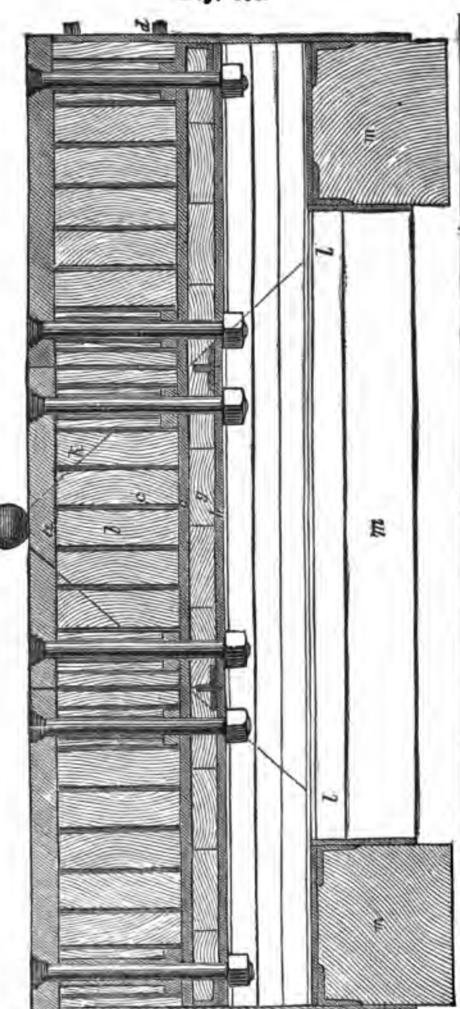
Pl. 29.

Fig. 99.



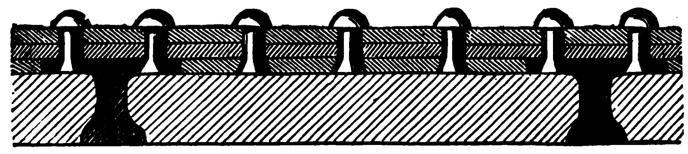
Cible Scott Russell. Élévation en face, 1/6 p. par pied.

Fig. 101.



Cible Chalmer. Section horizontale.

Fig. 107.



Cuirasse Scott Russell. Section transversale.

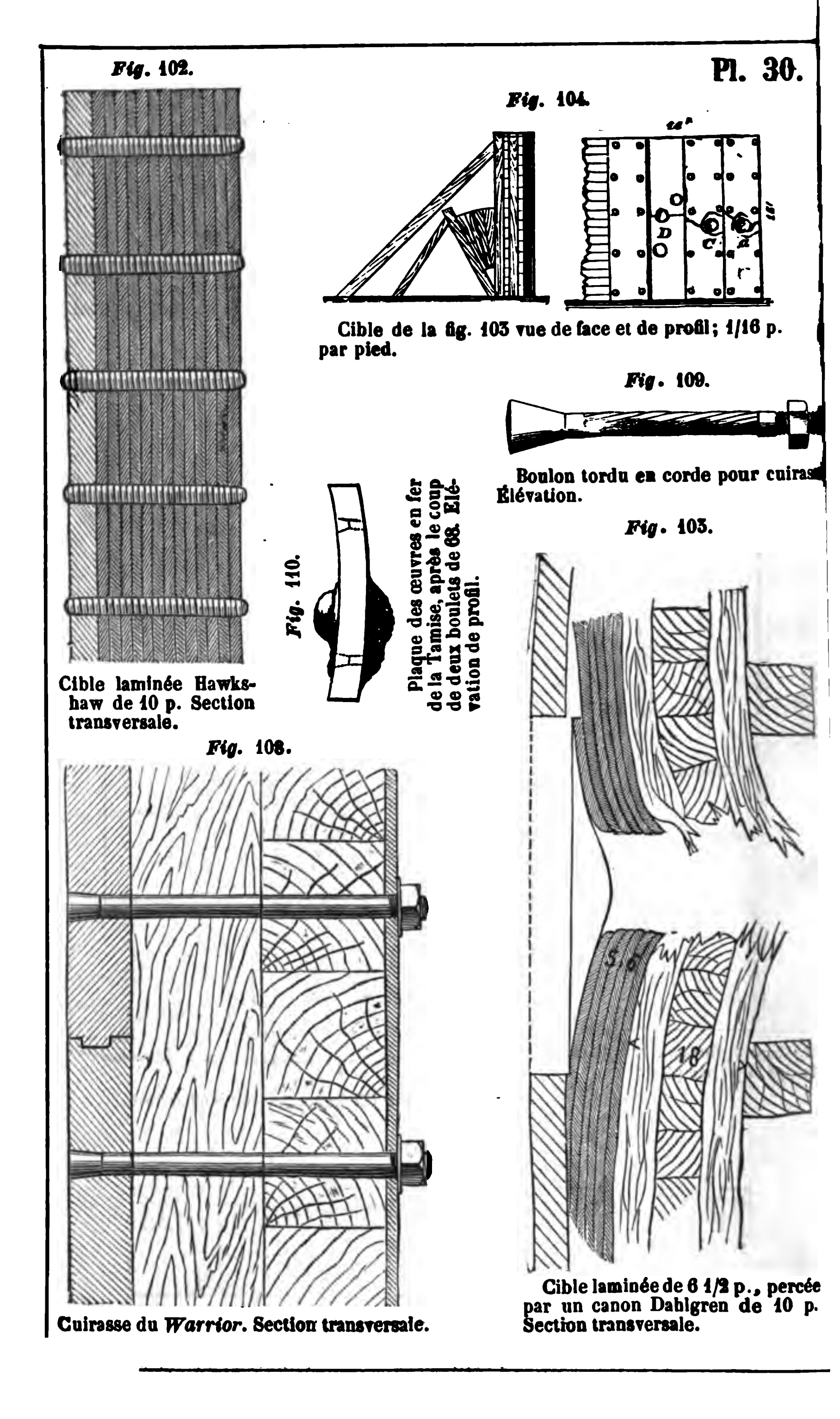


Fig. 102.

Cible laminée Hawkshaw de 10 p. Section transversale.

Fig. 104.

Cible de la fig. 103 vue de face et de profil; 1/16 p. par pied.

Fig. 109.

Boulon tordu en corde pour cuiras
Élévation.

Fig. 110.

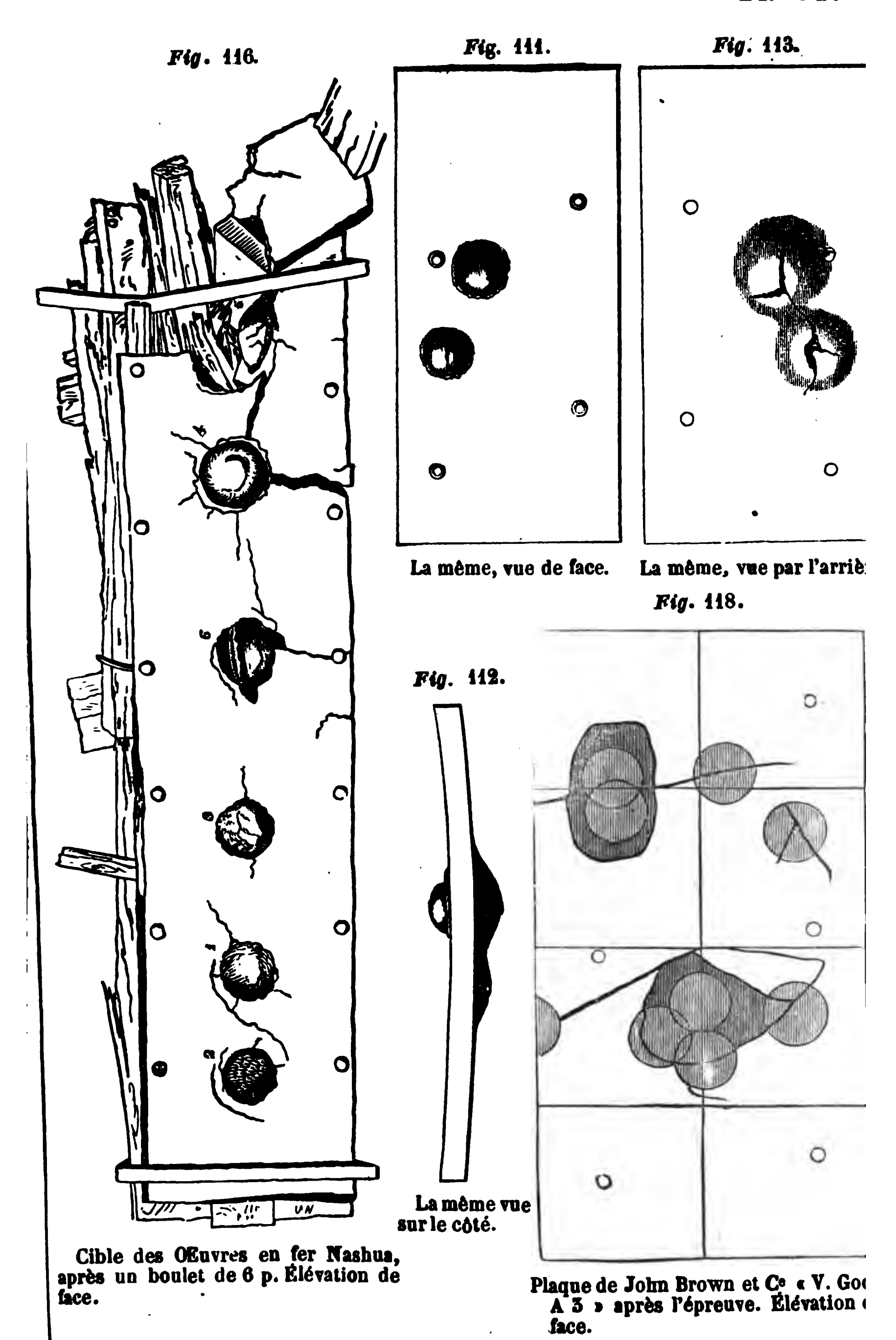
Plaque des œuvres en fer de la Tamise, après le coup de deux boulets de 68. Élévation de profil.

Fig. 108.

Cuirasse du *Warrior*. Section transversale.

Fig. 103.

Cible laminée de 6 1/2 p., percée par un canon Dahlgren de 10 p. Section transversale.



Cible des Œuvres en fer Nashua, après un boulet de 6 p. Élévation de face.

La même, vue de face.

La même, vue par l'arriè

La même vue sur le côté.

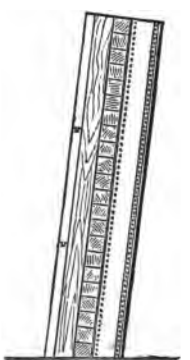
Plaque de John Brown et Ce « V. Goo A 3 » après l'épreuve. Élévation face.

Pl. 32.

Fig. 114.

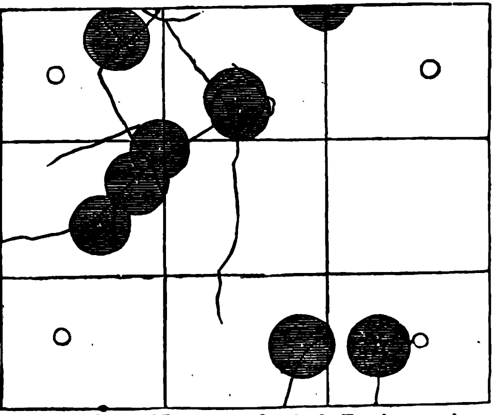
Cible Dahlgren de 4 1/2 p., n° 5, après le tir,

Fig. 119.



Cible *Warrior*. Tranche, 1/8 p. par pied.

Fig. 117.



Plaque A. 2 des OEuvres en fer de la Tamise, après un boulet de 6 p. Élévation de face.

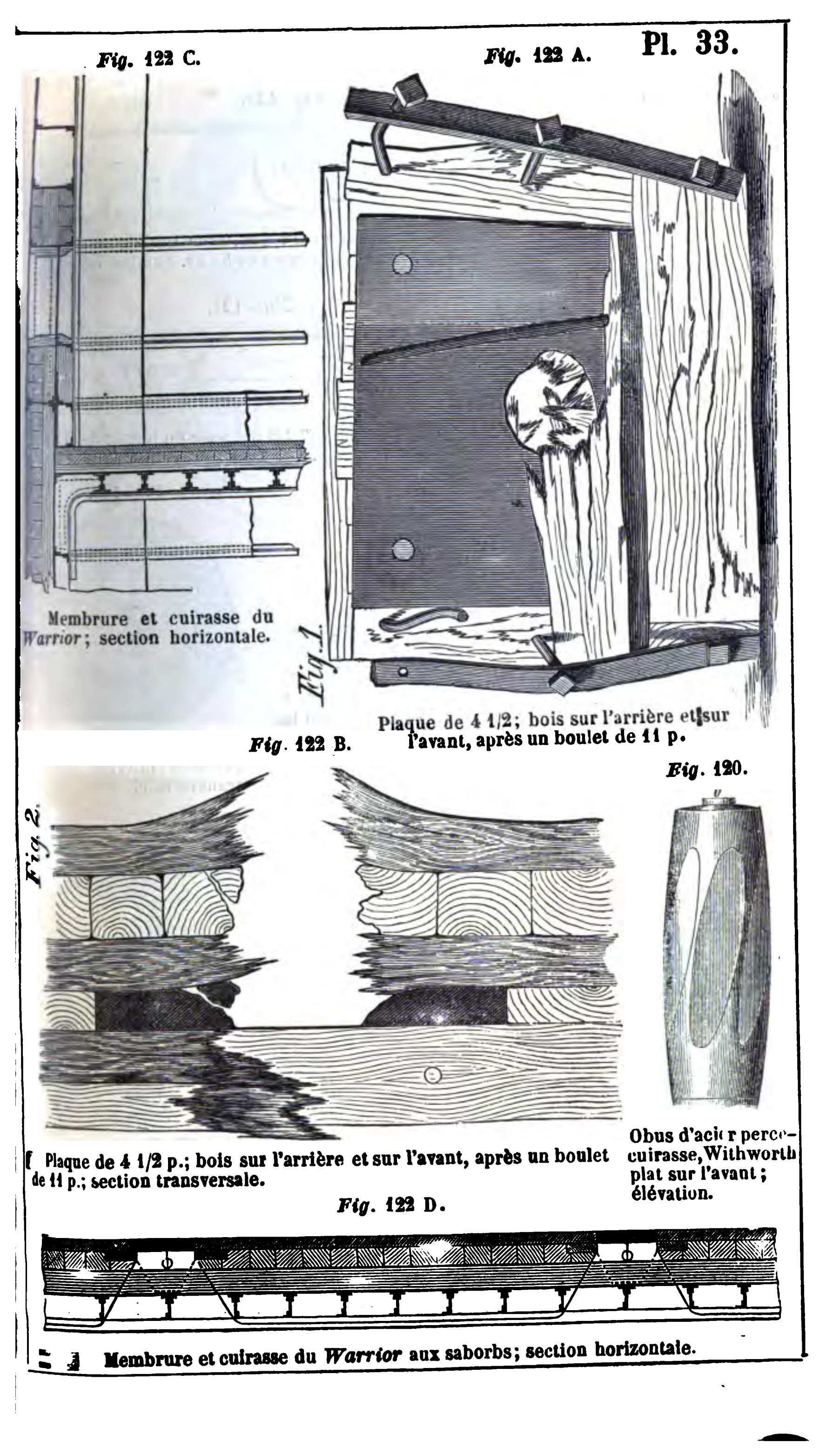


Fig. 122 C. Membrure et cuirasse du *Warrior*; section horizontale.

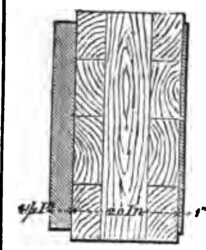
Fig. 122 A. Plaque de 4 1/2; bois sur l'arrière et sur l'avant, après un boulet de 11 p.

Fig. 122 B. Plaque de 4 1/2 p.; bois sur l'arrière et sur l'avant, après un boulet de 11 p.; section transversale.

Fig. 120. Obus d'acier perce-cuirasse, Withworth plat sur l'avant; élévation.

Fig. 122 D. Membrure et cuirasse du *Warrior* aux saborbs; section horizontale.

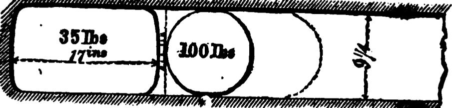
***Fig.* 115**



Cible des Œuvres en fer Nashua. Section transversale.

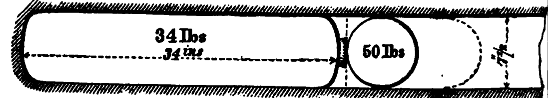
***Fig.* 123.**





Chambre du canon de 9 1/4 p., avec un boulet de 100 liv. et une gargousse de 35 liv. Section longitudinale.

***Fig.* 124.**



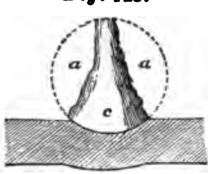
Chambre du canon de 7 1/2 p., avec un boulet de 50 liv. et une gargousse de 34 liv. Section longitudinale.

***Fig.* 121 & 122.**



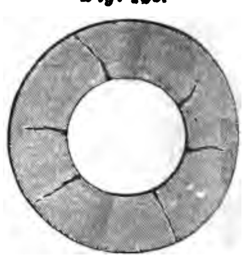
Même obus. Section longitudinale.

***Fig.* 125.**



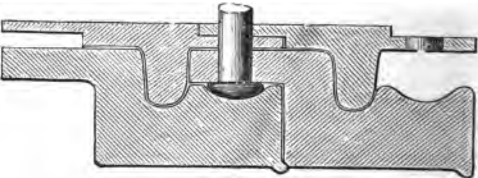
Fracture d'un boulet spérique en frappant la cuirasse.

***Fig.* 136.**



Cylindre éclaté par une pression interne. Section transversale.

***Fig.* 128.**



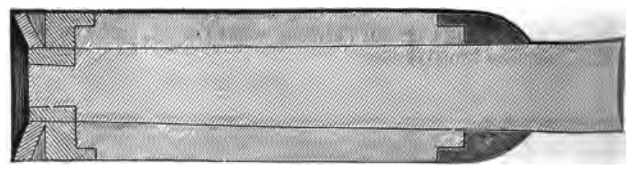
Cuirasse du *Galena*, navire en bois. Section transversale, 1/4 de grandeur.

***Fig.* 126.**



Projectile Whitworth à face plate. Elévation.

***Fig.* 127.**



Boulet sous-calibre de Strafford. Section longitudinale.

Pl. 35.

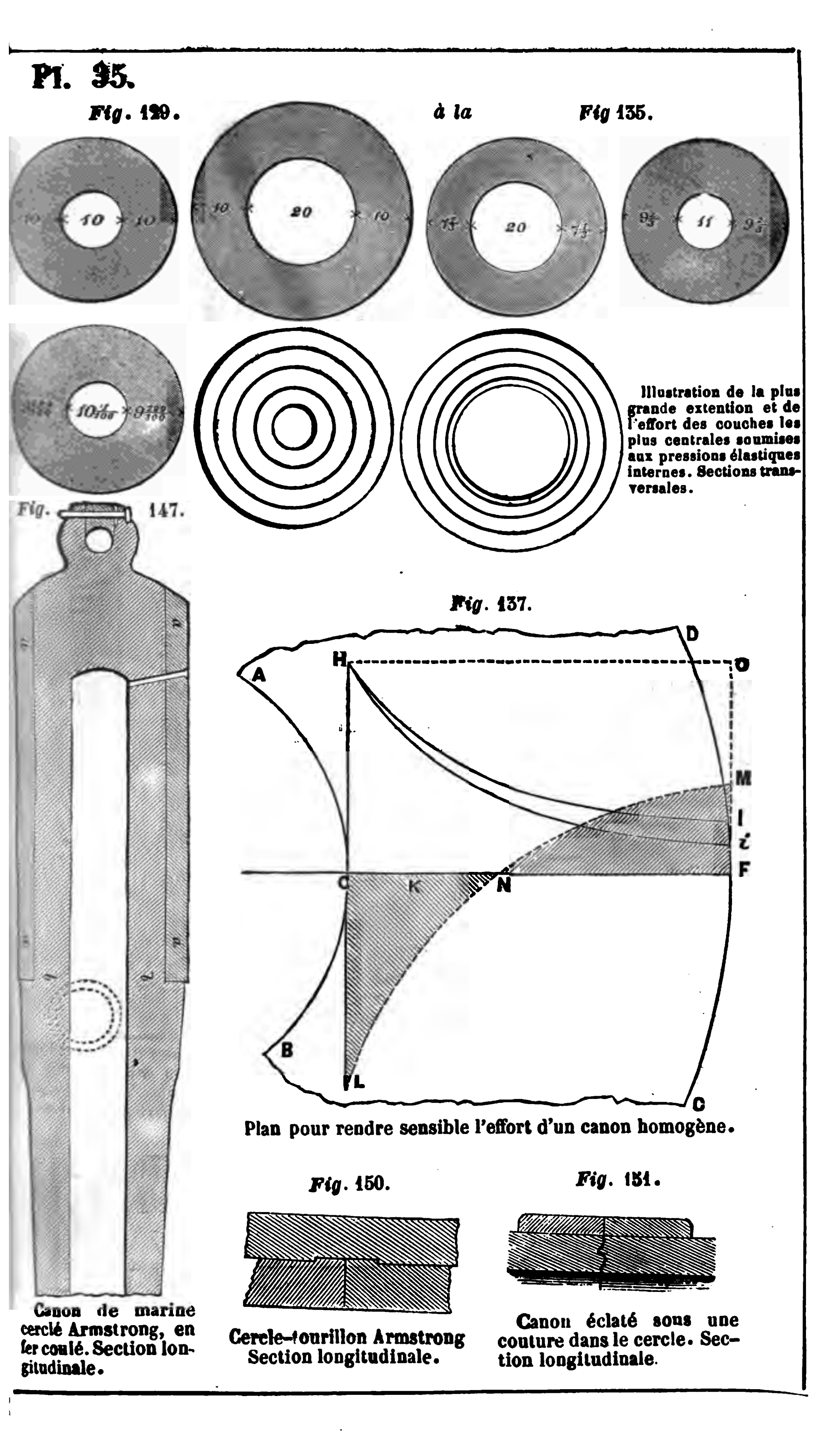


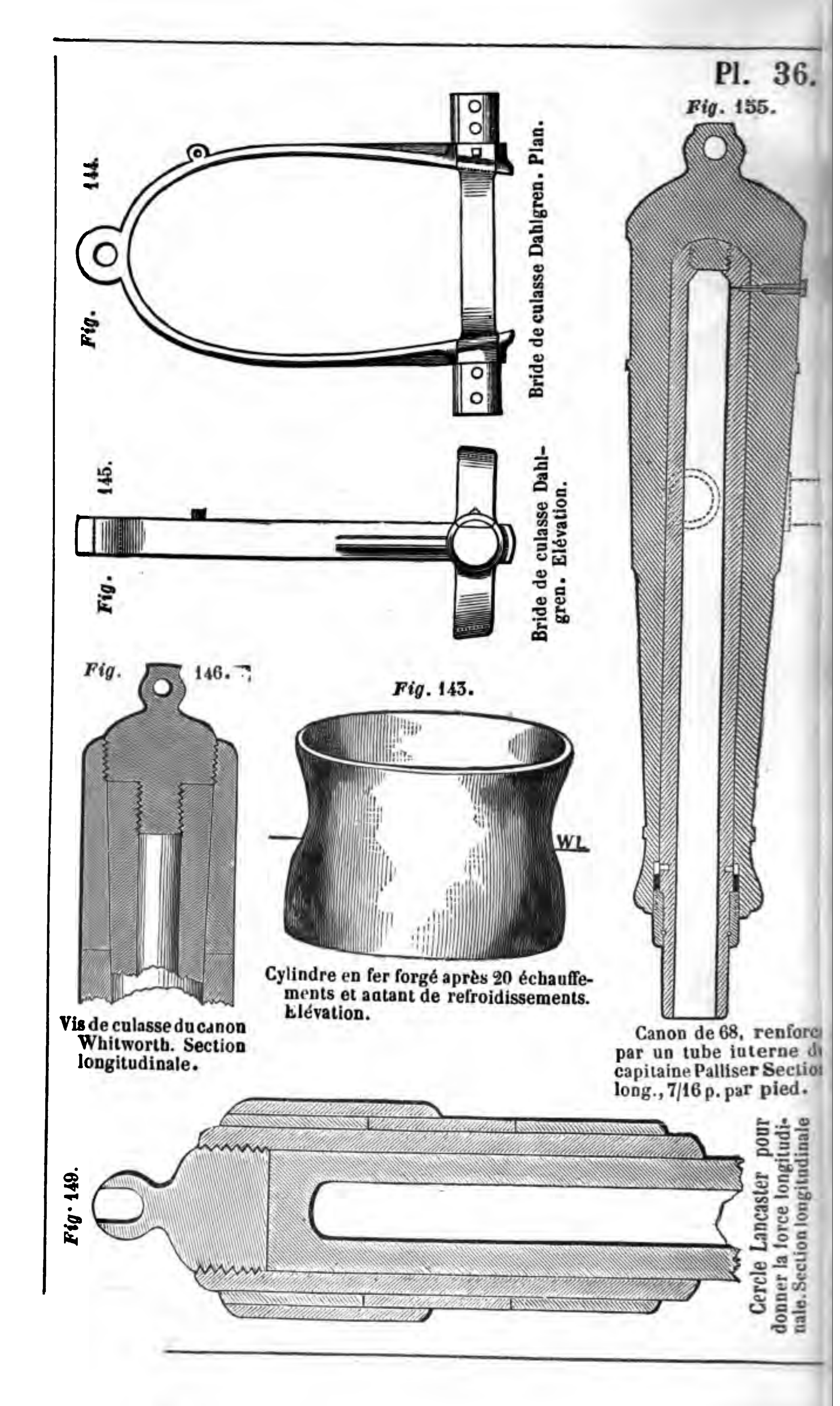
Illustration de la plus grande extention et de l'effort des couches les plus centrales soumises aux pressions élastiques internes. Sections transversales.

Canon de marine cerclé Armstrong, en fer coulé. Section longitudinale.

Plan pour rendre sensible l'effort d'un canon homogène.

Cercle-tourillon Armstrong Section longitudinale.

Canon éclaté sous une couture dans le cercle. Section longitudinale.



Bride de culasse Dahlgren. Plan.

Bride de culasse Dahlgren. Elévation.

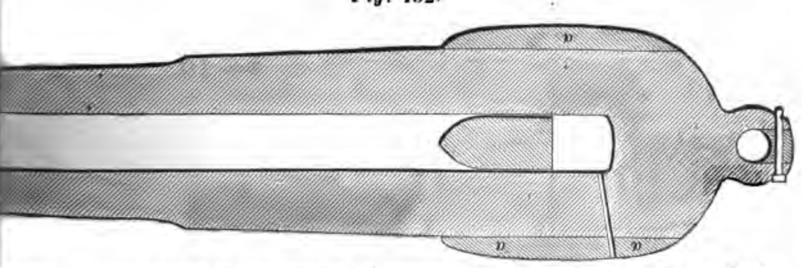
Vis de culasse du canon Whitworth. Section longitudinale.

Cylindre en fer forgé après 20 échauffements et autant de refroidissements. Elévation.

Canon de 68, renforc[é] par un tube interne d[u] capitaine Palliser Sectio[n] long., 7/16 p. par pied.

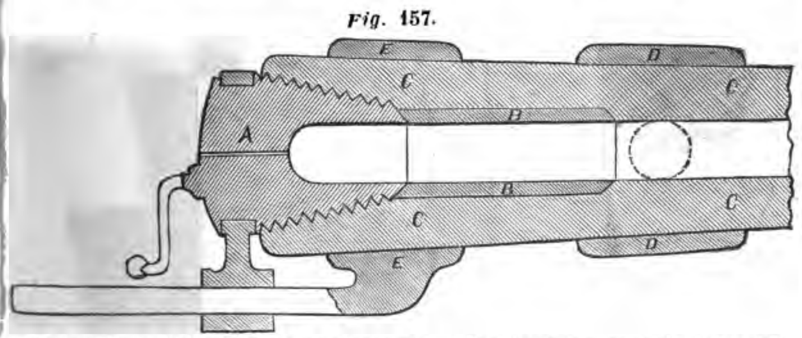
Cercle Lancaster pour donner la force longitudinale. Section longitudinale

Fig. 152.



Canon cerclé d'après la proposition du commandeur Scott, Section longitudinale.

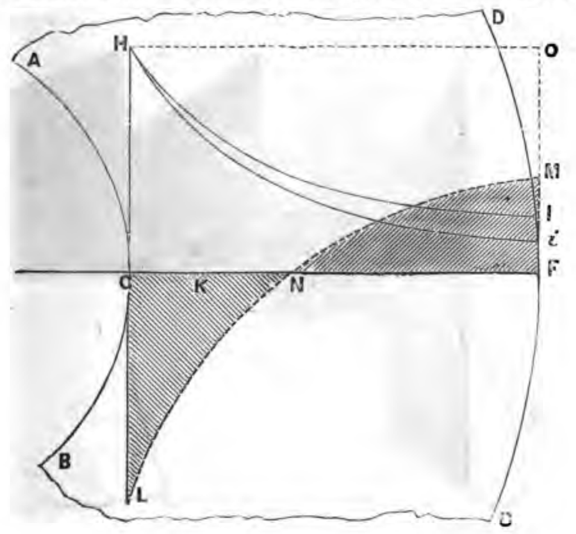
Fig. 157.



Canon du capitaine Blakely, se chargeant par la culasse avec son tube Interne de renfort. Section longitudinale.

Fig. 138 à 142.

Plans pour rendre sensible l'effort dû au manque de continuité des cercles.



Pl. 38.

Fig. 139.

Fig. 141.

Fig. 140.

Fig. 142.

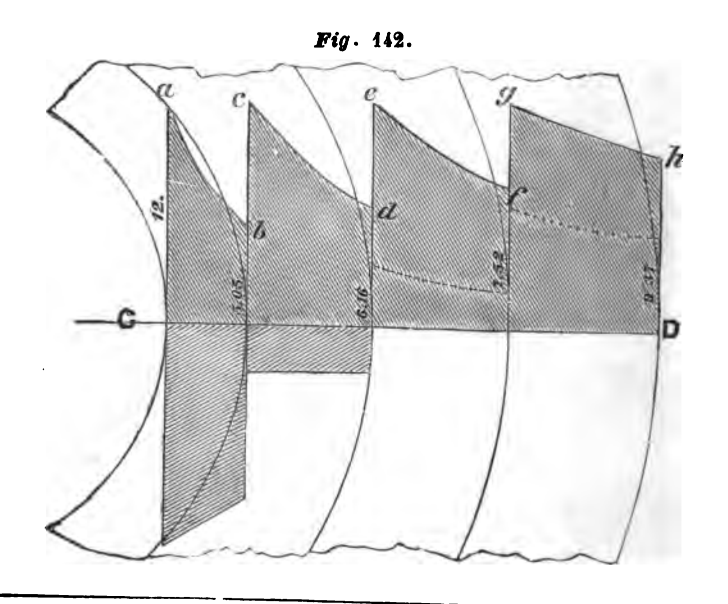


Fig. 148.

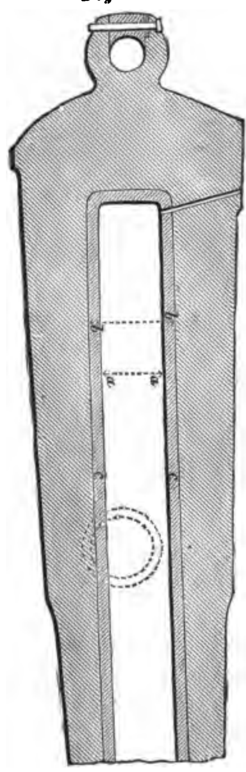
Canon Lancaster de 32 renforcé. Section longitudinale, 6/10 p. par pied.

F g. 156.



Même canon. plan de la bouche, 7/16 p. par pied.

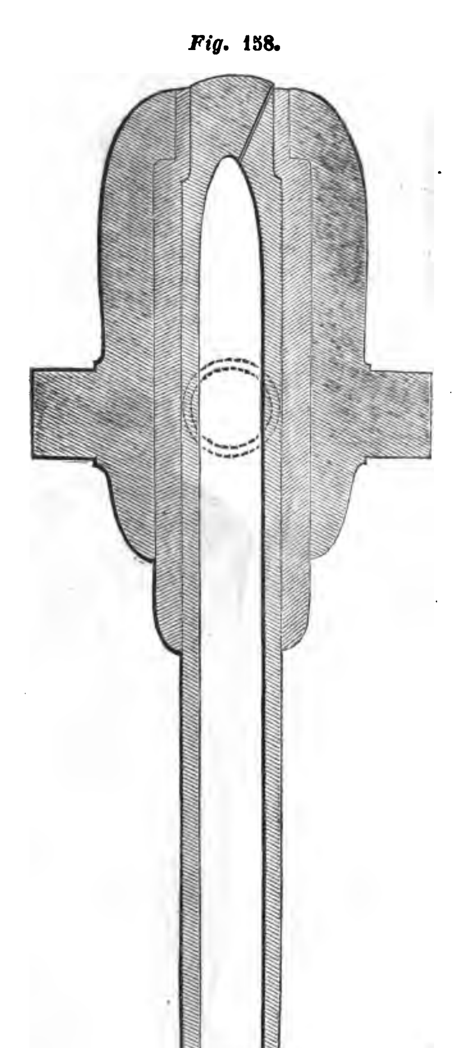
Fig. 153.



Canon de 68 contracté sur un tube en fer forgé, à Woolwich, 1860. Section longitudinale.

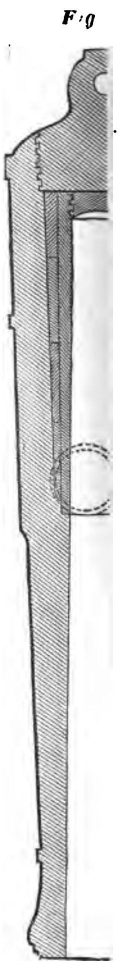
Pl. 40.

Fig. 158.



Canon de 9 p. du capitaine Blakely, acier fin et commun, et fer coulé. Section longitudinale, 7/16 p. par pied.

F'g



Canon de 68. par le tul de Parson longitudin p. par piec

TABLE DES MATIÈRES DU N° 7.

---

15 JUILLET 1865.

Traité d'artillerie et cuirasses, par M. HOLLEY,
Ingénieur américain.

PREMIÈRE PARTIE. — ARTILLERIE.

PLANCHES.

FIN DE LA TABLE.




AVERTISSEMENT DE L'ÉDITEUR.

Le Journal des Armes spéciales et de l'état-major. — Recueil scientifique du génie, de l'artillerie, de la topographie militaire, etc., etc., publié sur les documents fournis par les officiers des armées françaises et étrangères, par J. Corréard, ancien ingénieur, paraît le 15 de chaque mois; chaque numéro se compose d'un cahier de dix à douze feuilles in-8°, orné de Planches.

Trois livraisons de texte forment un volume.

PRIX :

Pour Paris.	42 fr.
Pour les Départements.	48
Pour l'Étranger.	54

On s'abonne à Paris au bureau du journal, boulevard Saint-André, 3, maison de la fontaine Saint-Michel.

Et chez tous les libraires de France et de l'étranger, et dans tous les bureaux de poste.

Les lettres et paquets doivent être adressés francs de port.

Nota. La collection est composée des années 1834 à 1862. On pourra se procurer chaque année séparément au prix de 20 fr. l'année; et, à partir de 1863, l'année se vend 42 francs, parce que le journal paraît une fois par mois.

ON S'ABONNE A L'ÉTRANGER CHEZ :

Bailly-Baillière, à Madrid.
W.-C. Church, 39, Park Row, New-York.
Bocca (frères), à Turin.
Decq, à Bruxelles.
Doorman, à La Haye.
Dulau et Ce, 37, Soho-Square, à Londres.
A. Cluzel, libraire de la bibliothèque impériale à Saint-Pétersbourg.
Host, libraire de l'Université de Copenhague et de la Société royale danoise des sciences, à Copenhague.
Issakoff, libraire-éditeur, commissionnaire officiel de toutes les bibliothèques des régiments de la garde impériale, à Saint-Pétersbourg.
Marietti (Pierre), à Turin.
Trübner et Cie, 60, Paternoster Row, à Londres.
Ch. Twietmeyer, à Leipsig.
Muquardt, à Bruxelles.
Van Cleef (frères), à La Haye.
Wolff, à Saint-Pétersbourg.

IMPRIMERIE DE E. DÉPÉE, A SCEAUX.



JOURNAL

DES

ARMES SPÉCIALES

ET DE

L'ÉTAT-MAJOR

RECUEIL SCIENTIFIQUE

Du Génie, de l'Artillerie, de la Topographie Militaire, etc., etc.

PUBLIÉ SUR LES DOCUMENTS FOURNIS PAR LES OFFICIERS DES ARMÉES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

PAR J. CORRÉARD,

Ancien Ingénieur.

CINQUIÈME SÉRIE. — TOME XV. — 32e ANNÉE.

15 Août 1865.

N° 8.

PARIS

LIBRAIRIE MILITAIRE, MARITIME ET POLYTECHNIQUE

J. CORRÉARD, éditeur,

3, BOULEVARD SAINT-ANDRÉ, 3,

Maison de la fontaine Saint-Michel.

1865





JOURNAL DES ARMES SPECIALES.

ARTILLERIE ET CUIRASSES

PREMIÈRE PARTIE

ARTILLERIE

(Suite. — Voir le numéro du 15 juillet, page 100.)

CHAPITRE IV

MÉTAUX ET PROCÉDÉS EMPLOYÉS DANS LA FABRICATION DES CANONS.

SECTION I. — ELASTICITÉ ET DUCTILITÉ.

340. **Elasticité.** — On a reconnu depuis longtemps que le maximum de tenacité des métaux n'est qu'une indication approchée du poids sous lequel ils peuvent travailler avec sécurité. Tous les métaux employés pour la fabrication des canons ont une élasticité appréciable, mais la mesure de cette élasticité — la dimension dont ils peuvent être allongés par une pression donnée avant de changer leur figure d'une manière permanente — est différente pour les di-

vers métaux, et très-indéterminée pour chacun d'eux.

L'utilité de l'élasticité consiste à permettre à la puissance de se mouvoir dans une certaine étendue, sans dilater le métal d'une manière permanente et sans l'avarier. Un métal qui n'aurait aucune élasticité s'étendrait d'une manière permanente, ou autrement il se briserait instantanément quand on lui applique une force suffisante.

341. LIMITES DE L'ÉLASTICITÉ DES MÉTAUX. — On ne peut mettre en doute que le fer, quelle que soit sa forme, ne soit doué positivement d'une certaine dose d'élasticité, — c'est-à-dire qu'il reprendra sa figure originelle après avoir été étendu jusqu'à un certain point, si bien que l'on peut considérer son élasticité comme parfaite pour tous les usages pratiques. M. Colburn a dit à ce sujet dans son estimable mémoire devant la société des Ingénieurs : * « On admet ordinairement que, pour des efforts compris dans certaines limites, le fer est parfaite-

* « Sur le rapport qui existe entre la charge de sûreté et la force maximum de tension du fer, » 2 mars 1863.

ment élastique. Il importe peu qu'il puisse souvent être étendu ou infléchi jusqu'à un certain point, on pense généralement qu'il reviendra à sa forme originelle toutes les fois que la charge sera enlevée. Il y a cependant de hautes autorités qui soutiennent que le fer prend une déformation permanente, même quand il est soumis à des efforts très-modérés. Si nous devons comprendre que la déformation est extrêmement petite, cela peut être vrai. *** M. Edwin Clark a fait des expériences sur une barre de fer de 10 pieds de long et de 1 po. carré. Sous un effort de 3 tonnes par pouce carré, il estime que la déformation permanente est à peu près la quatre-millième partie d'un pouce sur 10 pieds. Avec 8 tonnes le dérangement permanent est donné comme d'environ $^1/_{1280}$ po. pour 10 pieds, et ce n'est que quand on a appliqué un effort de 13 tonnes par pouce carré, que le dérangement arrivé à $^1/_{72}$ po. est devenu sensible. Avec des mesures d'une délicatesse aussi extrême, nous pouvons peut-être douter qu'il y ait en réalité aucun dérangement sur les efforts inférieurs à 9 ou 10 tonnes par pouce carré. Un accroissement d'un seul degré peut-être dans la

température de la barre au moment où on prenait les mesures, aurait produit plus d'effet que quelques-uns de ceux qu'on a relatés même sous des efforts considérables. Ainsi M. Edwin Clark donne la déformation permanente de la barre comme étant le $^1/_{153,846}$ de sa longueur après un effort de 8 tonnes par pouce carré ; et c'est presque exactement ce qu'aurait été l'extension de la barre si sa température n'avait été élevée que d'un degré entre les observations; le fer est échauffé par l'opération même de l'effort qu'on lui fait subir, et un effort soudain pour le briser donnera généralement aux bouts brisés trop de chaleur pour qu'on puisse les toucher à la main. Une extension aussi légère en apparence pourrait aussi provenir du moment où les pesons donnant son effort à la barre s'assujettissaient sur leur point de support. Mais même, en supposant qu'un dérangement permanent aussi microscopique ait réellement existé, aucun ingénieur n'y apporterait la moindre attention, comme affectant la force de la barre sur laquelle il a été observé.

342. On a fait si peu d'expériences pour déterminer la limite de l'élasticité des différents métaux, qu'on n'a adopté aucune règle générale.

M. Colburn dit : « Quand nous arrivons à la question de la force sur laquelle on peut opérer en sûreté, il existe une grande différence d'opinions parmi les ingénieurs, les estimations de la puissance du fer variant des $^4/_{10}$ à $^1/_{10}$ de la force de rupture. Les renseignements que nous avons tendent à prouver qu'il n'existe aucun rapport entre la limite de l'élasticité et la force de rupture de fer ; la première est plus variable que la dernière et est à peine exprimée comme résultat moyen, attendu qu'elle se meut depuis moins de $^1/_4$ jusqu'à plus de $^2/_3$ du poids de rupture, ou bien si l'on prend la limite de l'élasticité sans avoir égard aux poids de rupture, les exemples cités démontrent que la puissance varie depuis 3 $^1/_4$ jusqu'à plus de 24 $^1/_2$ tonnes par pouce carré, selon la qualité du fer, quoique la portée d'une barre de fer ordinaire ou d'une plaque de fer ne soit pas à beaucoup près aussi étendue. »

Les tableaux (51, 52 et 53) sont donnés par M. Mallet dans « sa construction de l'artillerie*. »

* On examinera plus loin l'allongement du fer forgé et de l'acier, et la pression correspondant au point de rupture.

Tableau LI. — Rapport entre les limites de l'élasticité et l'extension à la dernière cohésion, d'après les expériences du continent, en mesures anglaises.

NATURE DU MÉTAL ET AUTORITÉS.	Allongement à la limite de l'élasticité. Longueur de barre 1.0.	Effort correspondant en livres par pouce carré.	Rapport avec la dernière cohésion.	Valeur du coefficient d'élasticité en livres par po. carré.
Barres de fer forgé, les plus élevées.	.00167	30000	0.63	34133400
Dito (Duleau), moyenne.	.00062	17634	0.36	28444500
Dito (Lagerhjilm), moy.	.00072	21349	0.40	29440100
Fortes barres (Navier)	.00093	25600	0.45	25591165
Fil de fer (1.2 mill. diam.) dur ...	.00084	21300	0.33	26026718
Id. doux (Ardant)..........	.00088	21300	0.50	24177825
Acier coulé ang., tr. ble. (Morin), moy.	.00222	93866	0.67	42666750

Tableau LII. — Résistance de l'acier coulé de Krupp, comparée avec celle d'autres métaux à construire les canons. D'après un rapport du ministre de la guerre (en Prusse).

MÉTAL.	Dernière résistance à la tension par po. carré.	Dernière résistance à la torsion	Angle de torsion avant la rupture.	Valeur de Tr déduite *.
Acier coulé de Krupp, n° 1 (Emkron)	117213	36300	207°	3757050
Dito 2	110393	40140	128°	3652740
Dito 3	107516	34620	221°	3825510
Fer forgé	73138	25020	322°	4028220
Fer coulé	19341	17510	12°	105060
Métal à canon, 10 p. 100 d'étain...	43536	20430	400°	4086000
Dito , 9 Dito ...	41454	20810	386°	4016330
Dito , 11 Dito ...	36615	20320	315°	3200400
Dito , 12 Dito ...	32334	18300	130°	1189500

* Tr = livres par pieds pour produire la rupture par la tension, après que la limite de l'élasticité a été dépassée.

TABLEAU LIII. — **Force vive résistante de l'élasticité et de la rupture par la tension des métaux applicable à la construction de l'artillerie.**

MÉTAL.	i Extension par unité de longueur au-dessus de la limite de l'élasticité.	$T = P$ Effort par unité de sect. à la limite de l'élasticité.	P Effort en tonnes.	* $Te = \frac{1}{2} Pi$ Valeur pour unité de longueur et section.	Tr Valeur pour unité de longueur et section.	e Coefficient d'élasticité par unité de section.
		liv.		dynams	dynams	liv.
Acier coulé (angl.), trempe bleue...	.00022*	47040	21.0	5.125	39650	42666750
Acier coulé (allem.) doux.	.00096	35372	15.8	16.988	103500	28866725
Barre de fer forgé, ductilité maxim.	.00090	17024	7.6	7.660	96000	25000000
Barre de fer forgé, forte et rigide ..	.00054	25760	11.5	6.955	38325	28444500
Fer coulé, moyen .	.00085	14112	6.3	5.997	12287	17066700
Métal à canon, coulé moyen	.00104	10304	4.6	5.308	93252	9955575
Fil de laiton, tiré et adouci	.00135	21280	9.5	16.490	31680	9173190
Bronze, coulé, moyen	.00076	6944	3.1	2.639	20900	8930000

Quant à la limite d'élasticité du fer coulé et du fer forgé, M. Colburn affirme que deux poutres de fer coulé, expérimentées par M. Hodgkinson, ont pris chacune un équilibre permanent avec des poids respectivement égaux à $^1/_{57}$ et $^1/_{80}$ du poids de rup-

* Te = les livres par pied pour atteindre la limite élastique de la tension.

** Dans le tableau LI M. Mallet la met de 00222, ce qui est juste d'accord avec les autres expérimentateurs.

ture ; et que « dans une discussion à l'institution des Ingénieurs civils, un M. Dines a mentionné qu'il avait éprouvé plus de 8,000 lisses de fer coulé pour feu Thomas Cubitt, et qu'il avait trouvé qu'il était très-difficile d'appliquer un poids assez petit pour qu'il ne produisît pas quelque dérangement permanent, un vingtième de poids de rupture produisant un dérangement perceptible. *** Dans sept expériences par le professeur Barlow, sur des barres de fer forgé de 10 pieds de long, 2 ont conservé leur élasticité totale sous un effort de 11 tonnes par pouce carré ; 3 barres ont supporté 10 tonnes sans avarie, tandis qu'une a supporté 9 tonnes $^1/_2$, et une autre faite avec des vieilles barres de fourneau n'a pas retenu son élasticité au delà d'un effort de 8 $^1/_4$ tonnes par pouce carré. *** M. Edwin Clark, considère, d'après le résultat de ses expériences, que la limite d'élasticité du fer forgé est de 12 tonnes par pouce carré. »

343. Les résultats suivants (tableau LIV) des expériences de M. Mallet ont été fournis par lui à l'institution des Ingénieurs civils dans son mémoire du 1er mars 1859, « sur les coefficients d'élasticité et de rupture des forges massives. »

M. Anderson, surintendant de la fabrique de ca-

nons Armstrong, à Woolwich, affirme que « d'après plusieurs centaines d'expériences qui ont été faites avec le fer forgé coupé sur des barres destinées à la confection des canons Armstrong, on a obtenu le résultat suivant : Le point où le fer cède d'une manière permanente donne une résistance moyenne de 28,000 livres par pouce carré, tandis que le point de sa dernière rupture donne une moyenne de 57,120 livres, ou plus du double du point où commence l'allongement permanent. « Dans les grosses pièces de forge, le point moyen où le fer cédait d'une manière permanente était 23,760 livres, le point moyen de la dernière fracture était 48,160 livres. Les pièces de forge d'où les spécimens étaient coupés étaient toutes de la première qualité. »

344. **Ductilité.** — (GAIN DE FORCE PAR L'EXTENSION.) Quelques métaux, le fer forgé doux en particulier, peuvent être étendus considérablement au delà des limites de leur élasticité, et d'une manière permanente sans se rompre. Après avoir été étendus, ils paraissent prendre un nouvel arrangement de particules et une nouvelle limite d'élasticité jusque proche du point de rupture, où ils perdent toute élasticité et toute ductilité, mais où ils atteignent leur dernière cohésion; — c'est-à-dire

qu'une barre mesurant une section de un pouce carré, après avoir été étendue, résistera à un tirage plus grand qu'une barre de un pouce carré qui n'a pas été étendue. Le fer forgé augmente sa tenacité quand on l'étire en fil de fer, qu'on le roule ou qu'on l'étend à froid, mais particulièrement quand on l'étend après l'avoir un peu chauffé. M. Anderson affirme, comme résultat de plusieurs expériences sur le fer pour canon Armstrong, qu'après qu'il a cédé une première fois par l'addition d'un poids en plus, le spécimen de fer forgé s'étend graduellement jusqu'à ce qu'il ait réduit considérablement son diamètre; et toutes les parties qui ont été ainsi réduites ont une tenacité plus grande par pouce carré, que quand il était dans sa condition normale précédente. Le fer a pris dans une petite mesure le caractère du fil de fer, qui d'après le procédé d'étirage est toujours plus fort que le fer avec lequel on a fait le fil de fer.

M. Colburn affirme qu'il est probable qu'on augmente la force du fer par l'étirage, et que d'après les résultats connus du fil étiré, « Quand il est modérément chauffé, ou à moins qu'un rouge mat et qu'on l'étend alors, le fer est renforcé dans toute son étendue. Ce traitement est connu sous le nom

de thermotension, et dans une longue série d'expériences faites il y a environ vingt ans par le professeur Walter R. Johnson, pour le gouvernement des États-Unis, on estime que l'on avait obtenu avec une variété de fers un gain total de presque 30 pour cent sur la force et la longueur prises ensemble. *** Le capitaine Blakely a dernièrement proposé le même traitement pour le fer, et on prétend que ses expériences corroborent celles du professeur Johnson. »

Le capitaine Palliser mentionne l'expérience suivante : J'ai construit un tube de canon qui avait 1 ½ po. de diamètre d'âme, et j'y ai jeté un boulet cylindro-conique de 1 ½ livre. Ce tube a une épaisseur de ½ po. et est rayé. *** Le tube fut ajusté avec précision dans le canon jusqu'à moins de un pouce du fond, et fut vissé à demeure avec facilité par le moyen de l'écrou de la bouche (332). Je tirai une série de charges de plus en plus sévères avec ce canon, et après chaque décharge je prenais le tube et je l'examinais. Après la dernière décharge et la plus sévère, je trouvais qu'il fallait un certain surcroît de force pour dévisser l'écrou,

* « Traité sur l'artillerie composée, » 1863.

Tableau LIV *et suite au verso.* — **Propriétés des pièces de forge en fer forgé, gros et petit.**

Mallet. Inst. aux Ing. civils, mars 1859.

Unité de section, 1 po. carré × 1 pied de long.

N°	CARACTÈRE DU FER.	FORME DE LA FRACTURE.
1	Fagot de morceaux forgés, étiré sous le marteau à vapeur à 11 × 2 $^1/_2$ po...	Fibreuse................
2	Le même, étiré sous le marteau........	Fibreuse................
3	Morceaux roulés du même fer que le n° 1 et mêmes dimensions	Fibreuse et cristalline.....
4	Barre roulée de même que le n° 1......	Fibreuse avec quelq. crist.
5	Morceaux martelés provenant choisis dans les meilleures gueuses d'Ecosse et de la Galle du Nord...................	Cristaux; traces de fibres..
6	Gueuse crue de même espèce que le n° 5, puddlée, roulée en barre de fer n° 1, qui était coupé, empilé et roulé en barres n° 2, pour être empilé pour les pièces de fer centrales du canon Harsfall de 13 po..........................	Crist. fins et traces de fibre.
7	Barre coupée en long à l'extérieur d'une masse forgée provenant d'une pile de barres comme le n° 6..............	Crist. gross. et tr. de fibre.
8	Barre semblable d'une pièce de forge semblable au n° 7....................	Cristaux grossiers........
9	D'un cercle de 3 pieds de diamètre, coupé dans la circonférence d'une pièce forgée semblable au n° 7.............	Crist. gross. et quelq. fibres
10	D'un cercle coupé dans la masse que l'on a obtenue de la barre n° 7 en long....	Cristaux grossiers........
11	Barre coupée parallèlement au diamètre dans le bout de la bouche d'un canon forgé de barres n° 6	Cristaux fins ....
12	Fagot de barres au feu de charbon de bois des gros lambeaux bouclés tirés de l'intérieur d'un canon forgé de barres n° 6.	Fibres fines.............
25	Acier puddlé	Fracture fine aciérée......

TABLEAU LIV. (*Suite.*)

Pesanteur spécifique.	Tension à la limite élastique.	Extension totale à la limite élastique.	Valeur finale de Te.	Tension à la rupture.	Extension totale à la rupture.	Valeur de Tr.	Rapport de la torsion finale à la rupture.	Rapport de la tension à l'extension à la limite élastique.
	tonnes.	pouces.		tonnes.	pouces.			
7518	15.312	0.0143	20.579	24.062	2.2166	4978.1	100:140	100:1071
7546	14.219	0.0240	31.850	22.969	1.6333	3501.4	100:129	100:592
7457	10.937	0.0333	33.993	22.969	1.8290	3920.9	100:133	100:328
7537	10.937	0.0200	20.416	22.969	2.1667	4644.6	100:140	100:547
7610	8.750	0.0156	22.740	18.594	0.0924	160.4	100:101	100:561
7649	12.031	0.0292	32.789	21.875	0.6600	1347.5	100:111	100:412
7772	9.844	0.0240	22.050	19.688	1.0400	1911.0	100:118	100:421
7640	10.937	0.0110	11.229	17.900	0.5200	869.4	100:129	100:994
7632	6.562	0.0100	6.125	16.406	0.0772	118.2	100:101	100:656
7614	5.470	0.0152	7.758	16.716	0.1040	162.4	100:101	100:360
7673	3.281	0.0040	1.225	6.562	0.0424	31.9	100.101	100:820
7634	5.470	0.0800	40.833	22.321	0.9280	1928.2	100:106	100:68
7795	3.281	0.0288	38.220	42.3	0.6700	2693.1	100:112	100.494

parce qu'il s'était légèrement faussé. Ainsi ce boulet suffisait pour troubler légèrement l'équilibre du tube. Je réinsérai alors le tube et je le fixai en arrière à sa place comme auparavant avec de l'émeri fin et de l'huile. En se servant dans le canon de la même charge qui avait augmenté le tube précédemment, je trouvai qu'elle ne produisait pas plus d'effet sur la dernière, que l'on peut enlever et réinsérer avec la même facilité qu'au commencement. »

345. Mais l'addition de force provenant de l'extension du fer n'est pas du tout un gain, parce que, quoique la tenacité d'une surface donnée soit augmentée, la surface totale est diminuée. Et cette propriété des métaux ductiles ne peut entrer en ligne de compte dans la construction des machines. Au contraire, une charge qui changera d'une manière permanente la figure d'un fer, ou la structure de l'acier, est jugée une cause d'insécurité. L'importance de déterminer la limite d'élasticité des métaux, de manière qu'on ne puisse pas la dépasser en pratique, est précisément discutée en ce moment dans la Grande-Bretagne avec une ardeur inusitée.

Après avoir mentionné des exemples d'une tenacité augmentée par l'extension, M. Colburn remarque : « Mais de ce qui vient d'être dit il ne faut

pas supposer que le fer ne soit pas avarié par des efforts excessifs, malgré que le métal forcé puisse, quand on l'éprouve aussitôt après, conserver encore toute sa force de rupture. L'avarie paraîtra quand on prolongera longtemps un effort suivi sans interrompre le travail ; et même sans attendre cette épreuve, on trouvera que le fer dilaté par un effort a été privé d'une grande partie et peut-être de la totalité de son élasticité naturelle. » Le même écrivain mentionne l'expérience suivante : Feu M. Vicat a fait, de 1830 à 1833, des recherches sur les efforts du fil de fer non recuit. « Un fil de fer a été forcé au quart de son poids de rupture, mais en 33 mois il n'y a pas eu d'extension en plus de celle qui avait eu lieu dans le premier moment. Un second fil de fer a été forcé au $^1/_2$ de son poids de rupture, et en 33 mois il s'est étendu à la dimension de 2 $^3/_4$. Sur 1,000 parties de sa longueur, cet allongement étant en sus de celui qui avait eu lieu aussitôt l'application du poids, mais qui était par lui-même insuffisant pour produire aucun état permanent. Sous un effort de la $^1/_2$ du poids de rupture, un autre fil de fer s'est étendu de plus de 4 parties par 1,000 sur sa longueur. Sous un effort de $^3/_4$ du poids de rupture, un quatrième fil de

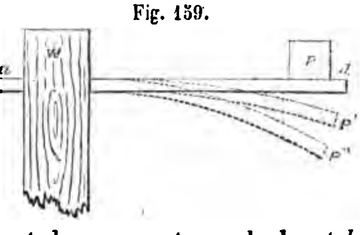
fer s'est étendu en 33 mois de 6 par 1,000 parties de sa longueur, et s'est alors brisé, circonstance qui a mis fin à l'expérience. »

346. Si, alors, la limite de l'élasticité n'est pas dépassée dans d'autres constructions, pourquoi le serait-elle dans les canons? Les circonstances sous lesquelles le fer forgé paraît gagner de la force en s'étendant, sont-elles les mêmes que celles du canon forcé par l'explosion de la poudre? Elles sont certainement semblables dans une particularité. Quand on étire un fil de fer et qu'on le roule à froid, on applique nécessairement une pression latérale en plus d'une simple extension, l'explosion de la poudre dérange et étire le fer comme sous un marteau. Le témoignage de sir William Armstrong et de M. John Anderson devant les commissaires de défense est très-clair sur ce point (402). Mais l'effort appliqué sur le canon donne-t-il de la sécurité à son changement de figure, parce qu'il est instantané, quand celui que l'on fait sur une poutre chargée uniformément ou sur une chaîne serait dangereux? Les expériences démontrent qu'une force instantanée causera la fracture des barres qui sont restées longtemps entières sous des efforts qui excèdent grandement leur limite élastique et

qui approche très-près leur maximum de tenacité. Dans les expériences de 1837 à 1842 de M. Fairbairn, des colonnes chargées des $^{19}/_{20}$ de leur poids de rupture ne pouvaient arriver à le supporter pendant une longue période de temps, qu'en empêchant toute vibration à l'intérieur et à l'extérieur. Dans les expériences de M. Roëbling, ingénieur du pont suspendu du Niagara, des barres étirées à $^{3}/_{4}$ de pouce carré au centre, et ayant une tenacité maximum de 33 tonnes par pouce carré, ont supporté un effort de 20 $^{1}/_{2}$ tonnes par pouce carré sans s'étendre visiblement pendant une semaine, quand on ne leur a donné aucun autre effort. Sous toute espèce de vibration, elles ont pris immédiatement un état permanent. Les spécimens ci-dessus, cependant, étaient chargés d'une manière permanente et alors on leur donnait un coup.

347. **Effet des différents modes d'application de la force.** — Cet effet est illustré dans la fig. 159. Supposons que le corps élastique *a b* soit solidement assujetti dans le mur W, et que le poids P soit placé tout doucement sur le bout *b*,

Fig. 159.



qui alors s'abaissera en se déprimant jusqu'à P, point où la résistance sera égale au poids. Mais si le poids étant mis en contact avec *b*, mais sans reposer sur lui, on le laisse aller subitement, le poids excédera la résistance jusqu'à ce qu'on atteigne P', après quoi, le moment acquis par le poids total (P et *b*) déprimera *b* jusqu'à P'', mais avec une vitesse allant constamment en diminuant, parce que la résistance n'excédera pas le poids. Si l'élasticité est parfaite et qu'il n'y ait pas de résistance atmosphérique, P'' sera deux fois plus bas que P, à partir de P'' la force élastique étant en excédant, le poids se lèvera de nouveau vers *b* et continuera à vibrer; mais, à cause de la résistance atmosphérique et de l'imperfection de l'élasticité, il viendra finalement se reposer en P', point de l'équilibre statique. En sorte que plus une force est appliquée doucement, moins le corps résistant sera forcé par son mouvement au delà de la position de l'équilibre statique.

Le capitaine Rodman a dit au sujet de la présente illustration * : « L'excès d'effort dû au degré d'application d'une force quelconque au-dessus

* « Expériences sur les métaux et sur la poudre à canon, » 1861.

de celui qui résulte de l'équilibre statique, est occasionné par le moment ou la force vive développée simultanément dans le corps qui produit l'effort et dans celui qui résiste jusqu'au moment où ils atteignent leur position d'équilibre statique, ou par le moment auquel ils arrivent dans cette position; pour mieux faire comprendre, supposons que la somme des masses du corps résistant *a b* et du poids P devienne infiniment petite comparée à celle qui leur est assignée dans la discussion précédente, et que la force de gravité ait été augmentée au point de produire que leur poids reste constant, et que le pouvoir de résistance de *a b* reste le même.

« Ces hypothèses ne changeraient pas la position de l'équilibre statique, et les corps qui se meuvent et ceux qui résistent atteindraient cette position avec la même vitesse qu'auparavant; mais leur masse étant par hypothèse infiniment petite, leur moment dans cette position devrait être infiniment petit en le comparant avec sa valeur sous la première hypothèse, et ils devraient par conséquent être emportés par ce moment seulement à une distance infiniment petite au delà de la position de l'équilibre statique. Le plus grand

effort devrait en conséquence, d'après cette hypothèse, être indépendant du mode d'application de la force qui produit l'effort.

« La pression statique exercée sur cette portion de la surface de l'âme, autour de l'emplacement de la charge, en tirant un canon de 10 po. avec la charge et le boulet du service, ne peut pas être inférieure à 50,000 liv. par po. carré. Le poids d'un corps qui produirait ce montant de pression statique par po. carré sur la surface d'une section transversale de l'âme de ce canon, égalerait 78.54 × 50,000 = 3,927,000 liv. Ce serait le poids de la masse nécessaire pour rendre les remarques ci-dessus applicables au canon de 10 po.; car dans la décharge du canon, la charge de poudre est la masse mise en mouvement, et la portion du canon qui avoisine l'emplacement de la charge est la masse qui résiste.

« L'extensibilité du fer à canon, au plus haut qu'on puisse l'estimer, ne dépasse pas 0,004 par po. sur la longueur; l'augmentation du diamètre de l'âme d'un canon de 10 po. serait par conséquent égale à 0,04 po. au moment de la rupture intérieure, et l'étendue du mouvement rayonnant de la surface de l'âme serait égale

à 0,02 po. La surface de l'âme aurait une plus grande étendue de mouvement que toute autre partie du canon; et s'il n'y avait pas d'autre résistance au mouvement que l'inertie de la masse du métal autour du siége de la charge, la vitesse développée dans cette masse, en passant au-dessus d'un espace de 0,02 po., ne serait en réalité qu'une chose insignifiante, et le moment qui lui correspondrait serait très-petit.

« La somme des masses qui donnent le mouvement et de celles qui résistent dans le cas du canon de 10 po., comparée avec celui d'un corps dont le poids égale 292,700 liv., serait très-petite, et la vitesse rayonnante de la charge, au moment où l'âme atteint le diamètre dû à la pression statique exercée sur elle, ne serait pas assez grande pour donner à son moment une grandeur tant soit peu considérable; d'où il suit qu'en tirant un canon, l'effort produit sur le canon, en sus de celui qui est dû à la pression statique en vertu du mode plus rapide de l'application ou du développement de cette pression, est une fraction pour cent très-petite de l'effort total.

« Ce raisonnement, et la conclusion à laquelle il conduit, ne doit pas cependant être invoqué à l'encontre du degré de combustion de la charge, car c'est la chose de la première importance; mais pour des causes entièrement différentes de celles qui ont été discutées ci-dessus.

« Il est bien connu et bien compris, en architecture et en mécanique pratique, qu'une poutre de bois ou une barre de fer soutiendrait, pendant un temps limité, un poids qui les briserait certainement à la longue, et, en termes généraux, que la force de rupture est une fonction décroissante du temps requis pour qu'elle puisse produire la rupture.

« On croit cependant que nous n'avons pas apprécié convenablement, jusqu'ici, l'effet du temps sur la résistance qu'un corps peut offrir, quand il y a une petite différence absolue dans la durée de l'action; mais quand le rapport du maximum au minimum de la durée est très-grand. Par exemple : le temps requis pour rompre, sur la machine d'épreuve, un spécimen extensible de fer coulé sera de cinq minutes. Envisagé d'une manière absolue, c'est un petit espace de temps,

et la différence qu'il y a avec un espace encore plus petit doit être encore inférieure ; mais quand on les compare avec la durée pendant laquelle le maximum de pression s'exerce sur l'âme d'un canon pendant une simple décharge, cet espace de temps devient énorme, — probablement aussi grand que le rapport du temps de l'existence d'une structure quelconque de bois et de fer, au temps requis pour essayer un spécimen de l'une ou l'autre matière. Et s'il en est ainsi, pourquoi la résistance d'un canon ou d'un obus à une simple décharge ne serait-elle pas aussi plus grande que celle qui est indiquée par le spécimen d'épreuve, comme le poids permanent requis d'une matière quelconque destinée à l'architecture est inférieur à celui indiqué par le spécimen d'épreuve ?

« Les résultats de diverses expériences que j'ai faites indiquent que les faits se passent ainsi ; par exemple, dans les cylindres qui éclatent avec la poudre (voir page 192, rapport de 1860), prenons le n° 1, avec une épaisseur de métal de 0,5 po., la pression qui fait crever égale 37,842 liv. par po. carré, et exige une force de tension de 75,684 liv. par po. carré, de la part du fer, tandis que la force de tension du fer n'était que de 26,866 liv. seu-

lement par la machine à éprouver. Et dans le cas n° 4 (même page et même rapport), avec 2 po. d'épaisseur de métal, la pression pour faire crever le canon était de 80,229* par po. carré, tandis que la plus grande que l'on avait pu avoir à la machine à éprouver aurait dû être deux fois la force de tension ou 53,732 livres.

« Ces résultats identiques, aussi bien que d'autres, montrent la différence importante, due à la différence du temps de l'action, quand la plus grande durée était tellement petite qu'elle était entièrement inappréciable aux sens. Prenons pour exemple les cas n°s 1 et 2 des mêmes cylindres dont il a été question. C'étaient des tubes d'une même capacité intérieure, de même métal autant que possible, et ils ont éclaté par des charges de poudre égales et de même qualité. Le tube n° 1 avait une épaisseur de 0,5 po., et le n° 2 1 po. La pression moyenne de rupture sur le n° 1 a été 37,842 liv. par po. carré, tandis que la pression sur le n° 2 n'a été que 38,313 liv. Un cylindre du cas n° 2 a eu besoin de deux décharges pour crever, l'indication de la pression était un peu plus inférieure pour la seconde charge que pour la première. Les pressions ont été déterminées par l'appareil à em-

preinte du capitaine Rodman. A présent on pense que la seule explication vraie de ces résultats est que 38,313 liv. est la pression due à la combustion de la charge de poudre dont on s'est servi dans l'espace de temps pendant lequel elle a brûlé; qu'elle n'a pas dépassé beaucoup la puissance de résistance du cylindre du cas n° 2, et qu'elle a requis une plus grande longueur de temps quoiqu'elle soit encore inappréciable pour produire la rupture (comme la chose est indiquée par le fait d'un cylindre forçant tous les produits de la combustion d'une charge à passer à travers un trou d'un dixième de po. de diamètre, sans éclater), tandis qu'il dépassait beaucoup le pouvoir de résistance du cas n° 1 et a éclaté en conséquence de cette situation en beaucoup moins de temps, mais surtout pas avant que la pression entière due à la charge de poudre employée ne se soit développée **.

« A présent la différence dans les durées de l'action des forces dans tous ces exemples était entièrement inappréciable aux sens. Cependant le rapport de la plus grande à la plus petite doit avoir été très-considérable. Et dans chaque décharge ordinaire d'un canon, la pièce est soumise à une force

qui la crèverait inévitablement, si on lui permettait d'agir pendant une longueur de temps appréciable ; en sorte qu'on peut dire que les canons n'éclatent pas parce qu'ils n'ont pas le temps de le faire avant que la pression de fracture ait été allégée. »

348. On peut se rendre compte d'une manière différente de l'accroissement de force due à l'extension. M. Colburn a dit : « M. Thomas Lloyd, ingénieur de l'amirauté, a fait une série d'expériences semblables, il y a quelques années, sur des barres de fer *S C à la Couronne,* ayant 1 $^3/_8$ po. de diamètre, et longues de 4 $^1/_2$ pieds. Le poids moyen de la rupture a été de 23.94 tonnes par po. carré dans la première expérience. Pour la rupture de la seconde, avec des barres de 3 pieds de long, la force moyenne était de 25.86 tonnes par po. carré ; dans la troisième expérience, les barres ayant 2 pieds de long, il a fallu 27.06 tonnes pour les rompre ; et enfin dans la quatrième expérience, avec une longueur de 15 po., il a fallu 29.2 tonnes par po. carré. On a regardé les expériences de M. Lloyd comme démontrant que le fer était renforcé par le fait même de son extension ; ou, en d'autres termes, qu'en détruisant la cohésion sur un point, elle était augmentée sur tous les autres.

Une explication plus évidente est que les barres se sont brisées d'abord à la partie la plus faible, ensuite à la partie la plus forte en suivant, et ainsi de suite. Une variation de 23.94 tonnes à 29.2 tonnes dans la force de la même barre est grande sans doute, la plus grande force étant supérieure de 22 % à la plus petite. C'est la différence qui a existé sur les dix barres que l'on a essayées. Il est bien connu cependant que l'on trouve à peine deux barres ayant la même force, et M. William Robert apprêteur des grandes forges pour câbles-chaînes de MM. Brow, Lenox et Cie à Millwall, a coulé une barre de fer de 12 pieds en longueurs de 2 pieds, et a trouvé à l'épreuve, qu'il y avait une différence de force de 20 % entre les plus fortes et les plus faibles pièces. Dans les expériences de la Commission du Iron Rail-Way, sur l'extension du fer coulé; la force des barres coulées de Low-Moor était de 7.725 tonnes par po. carré, à la première rupture et de 8.152 tonnes à la seconde. Le fer de Blaenavon s'est brisé avec 6.551 tonnes par po. carré à la première rupture, et avec 6.738 tonnes à la deuxième. Le Gartsherrie s'est brisé à 7.567 tonnes par po. carré à la première rupture et 8.475 à la seconde. D'autres barres en fer coulé d'un certain

mélange se sont brisées avec 66,125 tonnes par po. carré à la première rupture et 6.777 tonnes à la seconde, la dernière était dans un endroit sans solidité. D'après ces résultats les commissaires ont remarqué qu'il paraîtrait que le fer brisé à plusieurs reprises devient plus tenace qu'il n'était à l'origiue. On peut obvier à cette conclusion erronée, en considérant qu'il serait très-difficile sinon impraticable d'obtenir des barres de fer coulé, parfaitement solide, de 50 pieds de long. On peut supposer que les fractures ont lieu la première fois au plus grand défaut du fer, et ensuite au plus petit, jusqu'à ce que finalement il n'en reste aucun. »

L'extension permanente des couches intérieures d'un canon placé sans effort initial tendraient à les mettre en compression et les couches extérieures en tension, ce qui est une condition de force (405).

349. SURETÉ DE LA DUCTILITÉ. TRAVAIL FAIT PENDANT L'EXTENSION. — M. Mallet considère le fer doux forgé comme étant un métal propre à la construction des canons pour une autre raison. Le travail que l'on fait en étendant une barre de fer doux forgé jusqu'au point de rupture, beaucoup au delà de la limite de sa force élastique, dépasse considérablement le travail que l'on

ferait en étendant largement un métal moins ductile mais beaucoup plus tenace, tel que du haut acier coulé, pour l'amener à son point de rupture (352), (466). M. Mallet ne propose pas de charger le fer forgé au delà de la limite de son élasticité, mais il plaide en faveur de son usage parce qu'il y a là une belle marge de sûreté entre la limite de l'élasticité et l'effort de rupture. Si la première est accidentelle ou dépassée par le défaut du métal ou de la construction, le canon sera loin du point où il éclate, et pourra s'étendre considérablement et donner un ample avertissement. Mais quand la limite de l'élasticité de l'acier et d'autres métaux légèrement ductiles est atteinte, — et qu'elle est susceptible de l'être au bout d'un certain temps, — par les défauts de la matière ou de la fabrication, la fracture survient presque immédiatement. Il n'y a besoin alors que d'un « très-faible travail fait, » pour atteindre le point de rupture. M. Mallet admet cependant que l'acier est parfaitement sûr, si cette somme de travail accompli est fournie par une quantité excessive de matière. En d'autres termes, il doit y avoir une provision en réserve pour dépenser une grande

puissance entre l'effort qui opère le travail et la tenacité maximum.

Le fer forgé y pourvoit par sa ductilité. Le haut acier et le fer coulé et tous les métaux moins ductiles ne procurent cet avantage que par l'excès de leur quantité, en sorte que l'effort du travail opéré n'excédera jamais la limite de l'élasticité.

330. Mais si le fer forgé change de figure sous l'effort de la poudre à canon, quoiqu'il puisse avoir une tenacité supérieure, il finit par perdre sa ductilité en s'étendant et approche ainsi graduellement de la position assignée par M. Mallet à l'acier fin et au fer coulé — *sans offrir aucune marge de sûreté.* Si l'une des matières est mauvaise, (elle peut même avoir été fracturée en quelqu'endroit sans qu'on s'en soit aperçu), ou s'il survient un excès de pression accidentel, il ne faut alors que très-peu de travail fait pour atteindre le point de rupture. Et ce n'est pas là le seul défaut du fer forgé quand il est étendu. Comparé à l'acier, il a très-peu d'élasticité, ce qui réduit encore davantage la limite de sûreté indiquée ci-dessus.

Ainsi, quoique la rupture du fer forgé puisse

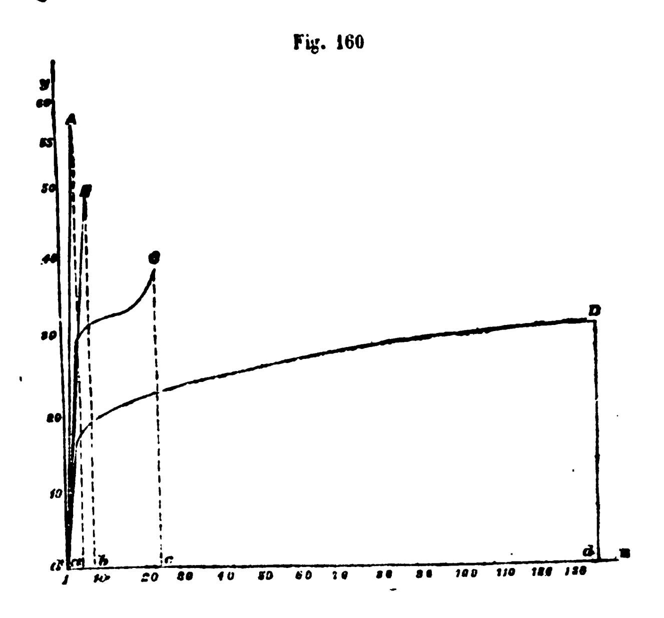
d'abord exiger d'une force quelconque en mouvement un effort plus vaste que la rupture de l'acier, il paraîtrait que si le fer forgé est étendu au delà des limites de son élasticité, par l'explosion de la poudre dans le canon, il prend graduellement le défaut même assigné par M. Mallet à l'acier, quoiqu'il puisse gagner en tenacité en s'étendant. En sorte que, un canon de fer forgé doit avoir à l'origine un plus grand excédant de matière, — une plus grande épaisseur de paroi, — que l'acier, parce qu'il lui faut un moindre effort pour atteindre sa limite d'élasticité, ou du moins, il doit se détériorer par l'usage, tandis que l'acier ne se déteriore jamais si les efforts qui lui sont imposés ne changent pas sa figure d'une manière permanente.

381. Aussi longtemps que la pression sur un petit canon de fer forgé sera maintenue en dessous des limites de son élasticité, il peut être aussi sûr qu'un gros canon d'acier. Mais ce qu'il faut, c'est la plus forte pression possible sur le boulet et par suite sur le canon. L'effort requis pour atteindre la limite de l'élasticité est beaucoup plus grand pour l'acier que pour le fer, en sorte que l'acier peut endurer la plus grande pression,

et pousser un boulet donné avec une vitesse plus élevée sans changer de figure d'une manière permanente.

382. Voici le raisonnement de M. Mallet et les conclusions qu'il en déduit : « L'épure qui suit (fig. 160) a été tracé d'après les tableaux (51, 52

Fig. 160



et 53). La quadrature de ses quatre courbes indique la valeur de Te (livres par pied quand on atteint la limite élastique de la tension pour acier fondu, pour fer dur fort, fer doux fort et fer forgé d'une ductilité extrême, mais d'une force modérée),

les ordonnées *d'y* expriment l'effort en kilogrammes à partir de leur origine *d'*, tandis que les abscisses *d'z* donnent l'extension en millimètres. La courbe *d'*D qui est presqu'une ligne droite donne l'extension de l'acier fondu ; la courbe *d'*B est celle du fer forgé fort dur ; *d'*C est la courbe du fer doux quand il est fort : enfin *d'*D est celle du forgé extrêmement ductile, mais pas très fort.

D'après les principes connus de la force vive, le travail fait dans chacun des cas par l'extension du métal égalera la moitié de la quadrature de chaque courbe respective. Il est évident alors à l'œil que quoique la force de l'acier fondu (sa cohésion maximum) soit énormément plus grande que celle du fer très-ductile, néanmoins, depuis le plus grand degré d'extension du dernier dans l'abcisse *d' z*, le travail fait pour l'étendre jusqu'à sa rupture finale, ou même pour l'étendre dans les limites de son élasticité *, a un excédant énorme sur celle qui est requise pour amener l'acier fondu au delà de son point de rupture.

* Il faudrait comparer avec la table de M. Mallet les résultats obtenus sur le travail fait en produisant l'extension du fer et de l'acier en *dedans* les limites de l'élasticité (353).

En fait, en nombres ronds, il faudra, une force en mouvement plus de 50 fois supérieure, pour rompre une section et une longueur données de fer forgé ductile, à celle qu'il faudrait pour rompre le fer coulé le meilleur et le plus tenace ; tandis que d'un autre côté, pour le fer forgé très-ductile, on a une valeur *T r*, environ 650 fois celle de *T e*, tant est grande la limite de travail que l'on peut faire en sûreté entre les limites de l'élasticité et celles de la rupture.

« D'où il suit qu'un canon formé d'acier fondu, ou d'un fort fer forgé dur, pourvu qu'il ait un énorme surplus de force au-dessus de l'effort le plus haut auquel il doit être exposé, sera très-sûr; mais si ses proportions sont réduites dans une limite plus étroite de balance entre la résistance finale et l'effort de rupture, ou si la dernière est amenée à un degré supérieur, accidentellement ou autrement, de manière à approcher d'une pareille balance, l'acier coulé ou le fer forgé dur fera le canon le moins sûr possible, tandis que dans tous les cas le canon de fer ductile serait de beaucoup le plus sûr. On pourrait rendre la chose évidente à tout le monde en disant que le premier canon approcherait d'un canon d'une

force énorme, mais qui serait en verre, tandis que le dernier se rapprocherait d'un canon de force suffisante, — si on pouvait le couler en cuir ou en caoutchouc, ou en drap de soie, comme les canons des Chinois. Le maximum de cohésion le plus élevé possible est sans aucun doute très-désirable; mais cette qualité *seule* ne répondra pas à l'artillerie (ou tout autre objet où il s'agit d'effort d'impulsion), il faut qu'elle soit unie avec la somme la plus large possible de ductilité dans le mode d'élasticité, pour donner de la sécurité; * ou autrement il faut acheter la sûreté par l'accumulation d'un surcroît immense de matière. »

353. Les conclusions de M. Mallet, sur la supériorité du fer forgé vis-à-vis de l'acier quand la quantité de matière employée est proportionnée à la dernière cohésion des métaux respectifs, sont évidemment exactes et utiles, mais il paraît avoir été tellement absorbé par sa croisade contre

* Le *Tr* de M. Mallet égale les livres par pied à donner à la rupture par tension dont la valeur ne paraît pas si « la ductilité dans le mode d'élasticité » est tout ce qui doit être uni au maximum de cohésion pour produire un bon métal à canon.

l'acier, qu'il en est venu à trouver une autre théorie contraire, d'après une erreur évidente qui se trouve dans ses tables. Nous trouvons ce qui suit dans le tableau de la page 73 de son ouvrage.

NATURE DU MÉTAL ET AUTORITÉ.	Allongement à la limite de l'élasticité. Longueur de barre 1.0.	Effort correspondant en livres par pouce carré.	Rapport avec la dernière cohésion	Valeur du coefficient d'élasticité en livres par pouce carré.
Acier fondu (anglais) trempe bleue.	....	....	..	......
Dito (Morris) moyenne.....	.00222	93.866	0.67	42666750

Dans le tableau de la page 79 nous trouvons ce qui suit :

N°	MÉTAL.	i Extension par unité de longueur au-dessus de la limite d'élasticité	T = P Effort par unité de section à la limite de l'élasticité	P Effort en tonnes.	To = $\frac{1}{2}$ Pi Valeur par unité de longueur et de section.	e Coefficient de l'élasticité pour l'unité de section
			liv. *		dyn.	liv.
1	Acier fondu (anglais), trempe bleue.....	.00022	47040	21.0	5.175	42666750
3	Barre de fer forgé, ductilité maximum	.00090	17024	7.6	7.660	25000000

N° 1. D'après les expériences de Morris sur la flexion des ressorts du dynamomètre.

On se trompe évidemment en affirmant que sur deux aciers présentés comme identiques et

ayant le même coefficient d'élasticité, l'un s'allongerait de 0,00222 dans la limite de son élasticité avec un effort de 93,866 liv., tandis que l'autre s'allongerait de 0,00022 dans les limites de son élasticité avec un effort de 47,040 liv.

Se reportant à la dernière table, M. Mallet remarque : « Dans le cas de l'acier coulé trempé, quoique la résistance à un effort passif soit censée élevée jusqu'à 21 tonnes par po. carré, cependant d'après la limite extrêmement petite de l'extension, le travail fait pour l'amener à la limite de son poids de sûreté est trouvé inférieur à celui qui est requis pour le fer forgé doux ductile, celui-ci porterait seulement un poids passif égal d'environ un tiers, celui de l'acier dans le rapport de 5.175. à 7.660.

A présent, au lieu de 5.175, la valeur pour l'unité de longueur et de section sera 52.214, si l'allongement à la limite de l'élasticité est supposée de 0.00222 au lieu de 0.00022. Et si au lieu de prendre l'effort à la limite de l'élasticité de 47,040 liv., nous le supposons de 93,866, la valeur pour unité de longueur et de section sera 104.19, ce qui lui donne un rapport plus beau et plus favorable avec le fer que 7.660.

On se propose d'examiner les diverses propriétés du fer coulé, du fer forgé, de l'acier et du bronze, et les effets des divers procédés employés pour en faire des canons, en ayant égard à la condition de leur plus grande efficacité.

On a déjà examiné les relations qui existent entre l'élasticité et la ductilité par rapport à la durée de l'effort. Puisque la tenacité maximum des métaux indique approximativement l'effort sur lequel ils peuvent fonctionner avec sûreté, on comparera entr'elles avec un certain détail leurs forces de tension.

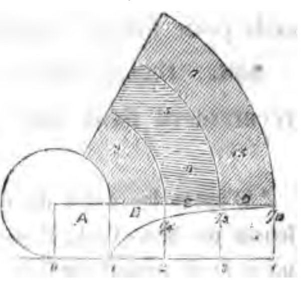
Section II. — Fer coulé.

554. Sa faiblesse et une objection sérieuse. — L'argument principal qu'on présente pour faire une pièce de canon, entièrement avec du fer coulé sans tension initiale régulière provient de sa faiblesse relative. Le premier expédient pour renforcer un canon fabriqué avec une matière aussi faible consiste à augmenter son épaisseur. Mais il a été démontré qu'un simple accroissement d'épaisseur, au delà d'un point qu'on atteint presque et

même tout à fait dans la pratique, ne renforce pas pratiquement le canon. Il n'existe aucune épaisseur pouvant mettre un cylindre en état de supporter d'une manière permanente une pression interne par pouce carré, supérieure à la force de tension d'un pouce carré de la même matière (282). M. Longridge dit, au sujet de cette loi, supposant que la pression de la poudre soit de plus de 8 tonnes par pouce carré (il prend 17 tonnes), et que la force du fer soit de 8 tonnes. Il semble étrange qu'on persiste à employer cette matière, et qu'on fasse expériences sur expériences pour chercher à trouver ce qui est aussi introuvable que la pierre philosophale, savoir de faire que du fer coulé puisse résister à une force supérieure à son maximum de force.

Le dessin de la (*fig.* 161) montre l'avantage qu'il y a à employer des métaux forts et à faire d'une moyenne épaisseur les anneaux pour cercler les canons, ainsi que les canons eux-mêmes quand ils sont homogènes, au lieu d'employer du métal faible et d'essayer de compen-

Fig. 161.



ser la qualité par la quantité. Le cercle intérieur représente le calibre du canon, les arcs extérieurs représentent des tubes ayant deux, trois et quatre fois le diamètre du calibre. La force entière de tension du métal étant représentée par le carré A, sa force dans un cylindre est représentée par les surfaces B, C, D; et le poids des canons ayant un, deux et trois calibres de diamètre est représenté par les nombres 3, 8 et 15; et le poids qu'on ajoute pour donner la force additionnelle correspondant à la surface C est représenté par la partie moyenne d'un anneau 5; et le poids additionnel pour donner la petite force en plus représentée par la surface P est représenté par la partie extérieure d'un anneau 7. Le seul autre résultat alors, si les principes de la construction ne sont pas radicalement changés, consiste à ajouter la force que l'on pourrait retirer d'un meilleur procédé pour fondre le métal.

355. FORCE COMPARATIVE. — On a appliqué tout récemment dans une fonderie de canons, * une

* D'après les notes du colonel Delafield, chargé des défenses de New-York, il paraît que ce fer provenait d'une pièce de 6, pesant 1000 livres, coulée par M. Johnson, des *Malleable iron Works*, Spuyten Duyvel, New-York; la force

fonte américaine ayant une force de tension de 49,496 livres par pouce carré. En supposant qu'on ait une quantité suffisante d'un pareil fer possédant une qualité uniforme, et que sa contraction quand on le refroidit et que la limite de son élasticité est favorable pour la confection des canons, ce ne serait encore qu'une matière faible comparée avec l'acier à 100,000 et 150,000 livres, qui a une tension deux ou trois fois plus forte. Mais le fer coulé n'arrive qu'à une tension moyenne de 50,000 livres ou même seulement 40,000. La moyenne de cinq échantillons de la qualité supérieure, mentionnée par le capitaine Rodman, * est 31,000 livres. Le système d'inspection adopté depuis 1841 pour le fer des canons a constaté que sa force de tension avait progressé de 23,638 livres à 37,774.** Le major Wade a constaté que la plus grande force

de tension varia de 30,420 à 49,496 liv., comme suit : 39,364, 37,340, 33,590, 42,660, 45,575, 42,660, 30,420, 48,672, 45,044, 45,044, 42,336, 39,040, 49,496, 35,520, 40,090, 45,632, 46,078, 42,748. La moyenne des 19 spécimens a été 41,913 livres.

* « Expériences sur les métaux à canons, etc., » 1861 (p. 137-138).

** « Rapports des expériences sur les métaux à canons, » 1856.

de tension des divers fers pour canon était de 45,970 livres, et que la moyenne entre la tension la plus élevée et la plus basse est de 27,485 livres.

356. M. Longridge donne la force du fer à canons anglais comme étant de moins de 20,000 livres et assure * que dans le livre Bleu de 1858, qui contient les expériences de Woolwich : « La force maximum du fer coulé qui y a été essayé était de 15 tonnes (33,600 livres), la force minimum de 4 $^1/_2$ tonnes (10,080 livres) et la force moyenne de 10 tonnes (22,400 livres). Ces expériences ont été faites sur des fers préparés et envoyés spécialement par les fabricants, qui les considéraient sans doute comme les meilleurs qu'ils pussent produire. Le résultat des expériences de M. Hodgkinson relaté dans son édition de Tredgold établissait une force moyenne de tension de 7 à 7 $^1/_2$ tonnes (15,680 à 16,800 livres) par pouce carré ; le fer de Low-Moor étant de 6 $^1/_2$ tonnes (14,560 livres), et le fer de Carron de 6 $^1/_2$ à 7 tonnes. D'après le rapport des commissaires sur l'usage du fer dans la construction des chemins de fer (1849), il paraît que la force de tension du fer de Bowling était de 6 à 6 $^3/_4$ ton-

* « Construction de l'artillerie, » Instr. aux Ing. civils, 1860.

nes (13,440 à 15,120 livres) et celle du Low-Moor, de 7 tonnes (15,680 livres par pouce carré. »

M. John Anderson, surintendant de la fabrique royale de canons de Woolwich assure * que, « d'après plusieurs centaines d'expériences faites avec les qualités supérieures de fer coulé, qui avaient été réunies en vue d'obtenir le fer le plus fort pour les canons de fer coulé, la plus grande tenacité fut trouvée depuis 10,886 livres jusqu'à 31,480, ou en moyenne de 21,173 livres par pouce carré. C'est un chiffre considérablement supérieur à la force des meilleurs fers coulés du commerce. La moyenne du fer de la Nouvelle-Écosse, dont les spécimens ont été récemment éprouvés, n'a donné que 15,821 livres, et quelques-unes des gueuses en fer écossais, choisies au hasard, n'ont donné que 12,912 livres. »

Dans la discussion sur l'artillerie, devant l'institution des ingénieurs civils, dont il a été question auparavant, M. Bramwell a dit, « qu'il avait un échantillon de fer coulé qui a été rompu à la machine à épreuves de Woolwich, après avoir supporté 19 $^1/_2$ tonnes (43,680 livres) par pouce carré

* Journal de l'Institution royale du Service-Uni, août, 1862.

de section avant de céder. M. Longridge a fait remarquer qu'après information, il avait trouvé que dans cet exemple on s'était servi de fer au charbon de bois d'Acadie, mais dans la même page du mémoire, d'où nous extrayons ce résultat, il y a des exemples où la force de tension du même fer n'a pas été jusqu'à 8 tonnes. »

387. La construction, avec du fer coulé non renforcé, des canons rayés qui exigent une plus grande force que les âmes lisses a été généralement abandonnée à cause de la faiblesse de la matière. M. Wiard assure * « que le travail sur nombre de canons rayés de 7 $^1/_2$ pouce (*fig.* 83) a été arrêté, parce que divers essais à la fonderie de West-Point et ailleurs ont démontré que l'on ne pouvait pas compter sur ces canons. » Il assure aussi que les canons de 80 étaient également manqués, et que le peu de garantie des canons de 50 avait amené le département à les retirer du service en général. La forme de ces canons était certainement bonne; mais leur matière ne méritait aucune confiance. Les expériences anglaises sur les rayures des anciens et des nouveaux canons en fer coulé seront données

* « Grands canons, » 1863.

en détail sous le titre *Rayures et projectiles.* *

358. RETRAIT PLUS GRAND DES FERS FORTS. — On

* Le colonel Eardley Wilmot, dans la discussion de la construction de l'artillerie, devant l'Institution des Ingénieurs civils, en 1860, a donné les faits suivants relatifs à la durée de certains canons de fer coulé :

« Dans le moment on faisait des expériences à l'arsenal de Woolwich avec un canon qui avait résisté aux décharges suivantes : 10 coups avec un cylindre pesant 68 livres ; 10 coups avec un cylindre pesant deux fois 68 livres ; dix coups avec un cylindre pesant trois fois 68 livres, et ainsi de suite jusqu'à quatre fois, cinq fois, six fois et sept fois, en sorte que le poids du cylindre pour les 10 derniers coups était 476 livres, la charge de poudre étant de 16 livres dans tous les cas ; cependant le canon ne fut pas avarié. Depuis, on a tiré cinq coups avec la même charge de poudre et un cylindre pesant 544 livres, ce qui a eu pour effet de détruire l'affût du canon. On le répara et on tirait une autre salve dans les mêmes proportions de charge et de poids de cylindre, quand le canon éclata.

« On avait devant soi les résultats d'un canon de 32 coulé en fonte espagnole, ayant 8 pi. 9 po. de long et pesant 45 qtx. Ce canon fut tiré d'abord avec 21 livres de poudre, 2 boulets et 2 valets ; ensuite avec 9 livres de poudre, 2 boulets et 3 valets à une élévation de 10 degrés. Il est à peine besoin de dire que comme l'élévation augmentait, l'effort sur le canon a été plus grand. Alors on a tiré 827 coups sans avarie, avec 9 livres de poudre, 2 boulets et 3 valets ; ensuite avec 9 livres de poudre, 3 boulets et 2 valets ; ensuite avec 9 livres de poudre, 4 boulets et 2 valets ; en continuant avec la même charge de poudre et le même nombre

prouvera plus loin que le fer le plus fort ne fait pas toujours le canon qui dure le plus. Plusieurs exem-

de valets jusqu'à 11 et 12 boulets qui remplissaient le canon jusqu'à la bouche. Par la suite, on l'essaya avec 12 livres de poudre et 10 boulets; 15 livres de poudre et 9 boulets; 18 livres de poudre et 8 boulets; 21 livres de poudre et 7 boulets; 24 livres de poudre et 6 boulets; 27 livres de poudre et 5 boulets, quand le canon fut de nouveau rempli jusqu'à la bouche, et alors il éclata. Il fallut aussi pour faire éclater ce canon un total de 3 tonnes 13 qtx de poudre, 25 tonnes 8 qtx de boulet, et 2 tonnes 19 qtx de valets.

« On a tiré un canon-obusier américain de 9 pieds de long sur 9 po. de diamètre, pesant 81 $^1/_4$ qtx, avec les résultats donnés dans le tableau LV.

TABLEAU LV.

Nombre de coups.	Charge de poudre.	Nombre de boulets et obus.	Poids des boulets et obus.
2	15 liv.	1 boulet	90
1500	10	1 obus	72
5	15	1 boulet	90
5	15	2 boulets	180
2	15	3 boulets	270
3	15	4 obus	288
1	20	3 boulets 1 obus	342
1	20	2 boulets 4 obus	468
1	20	2 boulets 6 obus	612
1	20	7 boulets	630
1	20	8 boulets	720
1	20	9 boulets	810
1	20	10 boulets	900

Quand le canon a éclaté.

ples mentionnés par le capitaine Rodman, * viennent sanctionner l'expérience générale dans ce sens.

« La très-courte durée de la première paire de canons d'expériences (8 po.) que l'on a fondue cette année (1849), a été attribuée à la qualité inférieure

« Il pouvait dire aussi que le canon de 32 anglais était connu pour avoir tiré 3000 coups au siége de Sébastopol; et quoique la lumière ait été augmentée, l'âme était parfaitement lisse, en bon état et propre au service.

« Il a été constaté d'après l'autorité de sir Richard Dacres, qui commandait l'artillerie en Crimée, qu'un certain nombre de canons de 68 prêtés aux Français ont résisté 2000 coups.

« Le colonel Wilford affirme que quelques mortiers de siége, tirés avec 20 livres de poudre, avaient résisté 2000 coups. *Journal de l'Inst. royal du Service-Uni*, 1862.

« Dans la grande exposition de 1851, il y avait plusieurs canons de fer coulé provenant de la fonderie de Liége (Belgique), que l'on certifie avoir résisté chacun le nombre de coups suivants :

Grandeur du canon.	Poids en livres.	Coups.
Pièce de 30	6055	2000
de 24, Comte	1985	3649
de 6	1954	6002
Obusier de 6 po.	1147	2118

« On a constaté que plusieurs canons de siége, employés à Saint-Sébastien en 1813, avaient tiré 6000 coups ! » Mallet. « Sur la construction de l'artillerie, » 1856.

* Expériences sur le métal à canons, etc., 1861, p. 137 à 138.

du fer dont ils étaient faits. On a passé deux années à rechercher une meilleure qualité de fer que l'on a sans doute trouvée, et en 1851, on a fait une autre paire de canons de 8 po.

Le fer de cette paire de canons avait une tenacité de près de 38,000 livres, tandis que celle du fer de la première paire était comprise entre 27,000 et 28,000 livres, Le canon coulé massif de la première paire éclata au 85e coup, et celui de la seconde paire au 73e coup, le fer le meilleur donnant le canon coulé massif le plus mauvais. Ces résultats, cependant, ne détruisaient pas la confiance dans le fer fort pour canons coulés massifs, et on fit la première paire de canons de 10 po. avec le même lot de fer; et avec une tenacité de 37,000 livres, le canon coulé massif éclate au 20e coup. Ce résultat affaiblit la confiance dans le fer très-fort, et la tenacité fut diminuée.

En 1857, après que des canons d'une bonne tenacité eurent manqué aux fonderies de Fort-Pitt, South-Boston et West-Point; quatre canons sur sept offerts pour être inspectés dans ces établissements éclatèrent dans l'épreuve. M. Parrott, propriétaire de la fonderie de West-Point, un de nos fondeurs de canons les plus expérimentés, fondit

ses canons d'essais avec du fer qui avait une tenacité de 30,000 à 32,000 livres. L'un de ces canons a supporté 1,000 charges du service à 14 livres de poudre (800 coups avec obus et 200 avec boulet). »

Un canon de 8 po., coulé en 1844 avec du fer donnant une force de tension de 26,376 livres, à résisté 671 coups tandis que deux canons du même modèle, coulés en 1851 avec du fer de 37,814 livres, ont donné une durée moyenne de 46 coups.

339. Cette infériorité du fer le plus fort pour canons est attribuée à sa plus grande contraction en se refroidissant, dont on examinera l'effet plus loin. Des derniers canons en question, on assure que le meilleur a été fait avec du fer inférieur, doux, gris, d'une tenacité moyenne et donnant peu de retrait. Le plus pauvre était fait avec du fer supérieur, dur, à grains serrés, ayant une contraction supérieure de 0. 10 à 0. 15 de pouce à celle du fer inférieur sur son diamètre. Il était fondu d'une seule fois et mélangé en une gueuse unique, et on le refondait à nouveau en partie avant de le fondre pour couler des canons. La réduction du carbone par ce procédé paraît contribuer à rendre son retrait plus grand, en même temps qu'à lui donner une force supérieure.

360. Le fer coulé a peut-être atteint sa force maximum à la fois, comme fer coulé, sans l'aide d'autres ingrédients ou procédés, il a été seulement perfectionné par la découverte de meilleurs minerais et de meilleurs mélanges. En effet un auteur assure*, que la qualité de notre fer en gueuse s'est détériorée depuis un demi-siècle. Dans un canon anglais importé en Amérique en 1845, le fer coulé avait une densité de 7.04, et une force de tension de 18,145 liv. par po. carré, tandis que d'autres canons anglais, importés environ trente ans avant, contenaient du métal ayant une densité de 7. 202, et une force de tension correspondant à 28, 067 liv. par po. carré. Mais la force de l'acier et la grandeur des masses qu'on fabrique vont chaque année en augmentant.

361. Manque d'uniformité. — Le fer coulé n'est pas uniforme. Le capitaine Rodman a dit ** : « Nous ne connaissons pas, par exemple, quelles sont les qualités de fer nécessaires pour faire le meilleur canon, et si nous les connaissions, nous ne saurions pas encore quels sont les minerais produi-

* The useful metals, p. 213.

** Rapports des expériences sur les métaux à canons, etc., 1861.

sant *constamment* du fer doué de ces qualités? Du fait que du fer supérieur fort fait un canon plus faible que le fer inférieur, il paraîtrait qu'il y a du moins quelque uniformité dans la variation du fer. Mais d'autres faits mentionnés par le capitaine Rodman garantissent la conclusion que nous sommes loin, quant à présent, de posséder une connaissance pratique des *propriétés* du fer coulé dans son application à la fonderie des canons. : « Un canon fait par le capitaine Parrott ayant manqué au 169° coup, le fer ayant une tenacité de 30,00 à 32,000 livres, a été condamné par lui comme trop supérieur, — ayant une contraction trop grande pour les gros canons. On a fait deux canons de 10 po. avec ce fer rejeté, et ils ont tiré 2,452 coups chacun, les plus petites charges étant de 14 livres de poudre et d'un boulet massif. Et aucun des deux canons ne s'est brisé. Depuis, ces canons ont tiré 1000 coups chacun avec 18 livres de poudre et un boulet massif sans que ni l'un ni l'autre se soit brisé. »

On suppose généralement que le même fer est uniforme dans sa contraction. Un exemple frappant du contraire est la tentative faite à Woolwich, pour contracter un canon sur un tube de fer forgé

(*fig.* 153). Deux canons ont été brisés dans cet essai, et le métal du troisième s'est contracté si inégalement que la durée a été limitée, si on la compare à celle d'un tube mis sans effort initial dans un canon de fer coulé. (Tableau XIII et 332.)

Dans 5 spécimens des meilleurs fers américains mentionnés ci-dessus, il y avait une variation maximum de 15,000 liv. par po. carré, — une variation égale à la force totale des autres qualités. La différence de force qui existe entre le fer à canon américain supérieur et inférieur, constatée pendant une série d'années, est de 36,970 liv. La différence de force entre le fer anglais le plus inférieur dont M. Anderson fait mention, et le fer américain le plus supérieur d'après le rapport du colonel Delafield, est de 40,000 par po. carré, — chiffre que Haswell donne comme étant la tension du meilleur fer du commerce.

362. Il faut toujours risquer ce manque d'uniformité parce qu'on n'y peut porter remède. Une longue expérience met en effet les fondeurs en état de mélanger les minerais avec un certain degré de certitude pour le produit qu'ils ont en vue, mais il n'y a pas deux charges identiques dans le fourneau à fondre, ni deux gueuses brisées pa-



nouvelle manufacture, parti-
velle manufacture d'acier.
iquait à cela : On peut don-
les frappants pour démontrer
identité de composition chimi-
s qu'une grande variation de
s. Par exemple, le phosphore
l, et s'enflammait avec la plus
on état ordinaire ; cependant
sans aucun changement chi-
e absorbé sans causer aucune
mait pas par frottement. Il
rtains composés tels que celui
a naphthaline qui existaient
e, liquide ou solide, et entre
t découvrir aucune différence
quent il ne pensait pas que l'i-
beaucoup d'influence sur les
s du fer. Il était soutenu dans
pport du Comité des chimis-
aux États-Unis, pour appro-
En 1851, ils avaient fait leur
était plein d'espérances. En
firma qu'il y avait un rapport
pinion, entre la quantité de

ingénieurs. Si donc, on trouvait que le fer coulé pouvait, avec un soin convenable dans sa manufacture, être fait presque parfaitement uniforme, on pouvait avoir la même confiance dans cette matière. En même temps, les importants résultats obtenus par le traitement suivant du fer coulé ne devraient pas être perdus de vue. Par une décarbonisation progressive, on pouvait le faire approcher de l'acier parfait dans sa nature, ou lui acquérir les qualités qui caractérisent le fer malléable. De pareilles conversions pouvaient, il y a quelques années, être obtenues seulement sur une petite échelle, ou par le procédé le plus pénible; maintenant on pouvait les effectuer sur une très-grande échelle, en sorte qu'on pouvait livrer des masses de produits d'une grande dimension. M. Bessemer, entr'autres, avait obtenu des résultats qu'on ne pourrait pas surpasser. Il pensait qu'ils pourraient être très-importants, particulièrement quand on se rappelait ce qui avait déjà été fait en Russie par M. Krupp dans cette direction. »

Cela revient à dire qu'il peut y avoir une variation dans la densité et autres *propriétés physiques* du fer coulé, mais cela promet de grands résultats quand on introduit des perfectionnements nota-

bles en montant une nouvelle manufacture, particulièrement une nouvelle manufacture d'acier.

M. Longridge répliquait à cela : On peut donner plusieurs exemples frappants pour démontrer qu'il pouvait exister identité de composition chimique en même temps qu'une grande variation de propriétés physiques. Par exemple, le phosphore était un poison mortel, et s'enflammait avec la plus légère friction dans son état ordinaire ; cependant dans un autre état, sans aucun changement chimique, il pouvait être absorbé sans causer aucune avarie, et ne s'enflammait pas par frottement. Il pensait qu'il y avait certains composés tels que celui du chlorure et de la naphthaline qui existaient sous la forme gazeuse, liquide ou solide, et entre lesquels on ne pouvait découvrir aucune différence chimique. Par conséquent il ne pensait pas que l'identité chimique eût beaucoup d'influence sur les propriétés mécaniques du fer. Il était soutenu dans cette opinion par le rapport du Comité des chimistes, nommé en 1849 aux États-Unis, pour approfondir cette question. En 1851, ils avaient fait leur premier rapport qui était plein d'espérances. En 1852, leur rapport affirma qu'il y avait un rapport décidé, selon leur opinion, entre la quantité de

carbone non combiné et la force de tension du métal. Mais dans le rapport final en 1855, tous les premiers rapports furent mis de côté, et il fut constaté qu'en appréciant grandement l'étendue de leurs travaux précédents, en les complétant on avait diminué sensiblement la considération de leur utilité. « Par conséquent on pensait que, malgré qu'il fût désirable de s'assurer des qualités chimique du fer, les hommes pratiques étaient encore loin d'être en position de les accepter comme des indices de sa force de tension.

M. Bidder, président de l'Institution, a dit dans la même discussion : « Les canons de fer coulé ont exhibé parfois des résultats étonnants sans aucun doute. Ils ont résisté à une quantité immense de coups et d'efforts, mais il n'y avait aucune certitude d'obtenir avec eux des résultats uniformes. Dans un cas un canon de fer coulé avait soutenu 1500 à 2000 coups, tandis qu'un autre canon constaté pour avoir été coulé avec le même métal et sous des conditions tout à fait identiques, n'avait pas résisté un seul jour. »

M. John Anderson, dans un article sur la ma-

* « Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, » août 1862.

tière à canon, a dit : « On se rappelle plusieurs exemples de fer coulé qui ont montré une somme merveilleuse de force, de tenacité et de durée générale, soit comme canon, soit dans d'autres constructions. Mais le meilleur est encore incertain, et comme on le verra ci-après, il n'est pas fort et il est traître, ne donnant aucun avertissement avant de rompre; et le moment arrive particulièrement pour l'artillerie, où il faut trouver pour le remplacer une matière meilleure comme le fer ou l'acier forgés, ou peut-être une combinaison des deux. »

363. Il a été constaté en effet que la durée des canons de fer coulé peut être prédite avec une belle exactitude en examinant les petites fêlures et autres apparences qui se présentent dans l'âme après un certain nombre de coups ; et qu'en thèse générale, l'expérience a déterminé le nombre de coups auxquels un canon peut résister. Sans mettre en question ces résultats, il est seulement nécessaire de considérer que ce renseignement n'a pas été utilisé (peut-être parce qu'il ne pouvait pas l'être), au point d'empêcher des pertes sérieuses, pour la vie des hommes, le trésor et la discipline, quand des canons en fer coulé ont éclaté. Et ce qui est pire, il n'a pas empêché cette considération

continuelle d'un malheur qui interdit les fortes charges, les grandes vitesses, et la manière décisive de conduire la gueuse qui serait rendue sûre et praticable avec un métal à canon digne de confiance sans être plus fort. On comparera plus loin sous ce rapport le fer coulé et le fer forgé.

364. DÉFAUTS DANS LA FUSION. — La force actuelle d'une coulée épaisse est beaucoup moindre que celle du même fer en petites barres. L'extérieur se refroidit et se contracte d'abord, en resserrant quelques parties du fer liquide ou en pâte dans le voisinage de la surface. Prenons le cas d'un cylindre solide, quand l'extérieur a pris de la consistance, l'intérieur commence à se refroidir, et en se contractant il tend à faire trois choses : 1° Il tend à pousser l'extérieur et à le ramener à un diamètre plus petit, mais avec une force seulement plus faible, c'est-à-dire une tension diminuée de chaleur, tandis que le côté extérieur oppose une résistance plus forte, la compression dans la meilleure forme pour maintenir l'arc *. Le côté exté-

* Les canons américains coulés massifs présentent une section légèrement ovale, en sorte que les effets d'un arc qui ne céderait pas sont modifiés. Les canons Dahlgren sont aussi coulés beaucoup plus grands que leur dimension finale,

rieur est alors un peu comprimé. 2° L'intérieur en se contractant tend à se briser et à se délier d'avec l'extérieur ; mais comme le métal est plus froid et la section plus grande vers la périphérie qu'au centre, le fer n'est que peu forcé dans cette direction. 3° Comme l'intérieur rencontre ces deux résistances en essayant de se réduire à un cylindre d'un moindre diamètre, sa dernière tendance est de se séparer en fentes rayonnantes. Dans chaque grande coulée ce résultat se présenterait immédiatement ; autrement le côté intérieur serait laissé à une tension élevée. « L'étendue de la contraction dans un canon de 10 po. refroidi, comme on l'a supposé ci-dessus, avec une différence maximum de température (2700°), serait d'environ 10 po. sur la longueur, et d'un demi-po. sur le diamètre, et les $^6/_7$ de ce dernier seraient dans une direction du centre à l'extérieur, tendant à ouvrir et à fendre le canon. Ce qui vient d'être dit suppose un cas extrême, dans lequel il y a une différence maximum entre les températures de l'intérieur et de l'extérieur, condition qui n'existe jamais dans la prati-

de sorte que le métal peut s'ajuster de lui-même aux efforts jusqu'à un certain point, quand il est tourné. Quelques canons de 11 po. en fer coulé ont résisté 1500 ou 2000 coups.

que. Mais par ce moyen cependant on peut expliquer la loi qui régit la contraction du fer. » * Dans aucun cas l'intérieur n'est jamais compact et dense.

365. Si, comme quelques auteurs l'affirment, la contraction du fer coulé est plus grande quand il se refroidit rapidement que quand il se refroidit lentement, la plus grande contraction de la partie extérieure du canon devrait résoudre la difficulté en question ; mais si le contraire est vrai, — et c'est d'après cette théorie que le capitaine Rodman propose de mettre l'extérieur du canon en tension, en le refroidissant par l'intérieur, les efforts décrits ci-dessus seraient aggravés.

366. Alors les sources des manquements sont comme suit : quand le canon est froid, une partie considérable de la force de tension de l'extérieur est déjà employée à empêcher l'intérieur de se contracter, ne laissant ainsi que son reste pour résister à la poudre, tandis que l'extérieur, étant en compression, peut n'opposer au commencement aucune résistance à la poudre ; au contraire, sa première tendance est d'aider la

* Major Wade. « Rapports des expériences sur les métaux à canons, » 1856.

poudre à ouvrir le canon. Mais ce n'est pas tout; la couche extérieure d'un tube quelconque n'est que légèrement dilatée par la pression élastique interne, tandis que la couche interne est très-dilatée — la quantité des dilatations étant en raison inverse du carré des diamètres; d'où, si la couche extérieure a une compression initiale, elle peut être si légèrement allongée par la poudre qu'elle ne vient jamais en tension que l'intérieur ne soit éclaté simultanément.

367. La tendance du noyau du canon à se contracter à partir de la portion externe est comparée par M. Conybeare * à un canon qu'on construirait d'un certain nombre de cercles concentriques en fer forgé, en chauffant le second cercle pour le placer en dedans du cercle extérieur déjà contracté; et, quand le second cercle se serait refroidi, en répétant l'opération avec un troisième cercle à la chaleur rouge. Un pareil canon serait entièrement dépourvu de cohésion et de force; cependant c'était précisément la manière de procéder adoptée dans la construction de l'artillerie de fer coulé, quand on la coulait

* « Discussion sur la construction de l'artillerie. » Inst. aux Ing. civils, 1860.

massive et qu'on la refroidissait par l'extérieur.»

268. L'existence des efforts provenant d'un refroidissement inégal est démontrée par la durée des canons que l'on a gardés longtemps après les avoir coulés, donnant ainsi au métal le temps de se remettre dans une condition de repos. M. Bramswell * s'en réfère ainsi aux expériences américaines : « Un canon qui avait été ainsi conservé pendant six ans dure 800 coups avant d'éclater; tandis qu'un autre canon résista à 2,582 décharges et n'éclata pas. Des canons de même fabrication, essayés trente jours après avoir été coulés, ont éclaté, l'un, au quatre-vingt-quatrième coup, et l'autre au soixante-douxième. Ce résultat démontrait qu'il n'était pas impossible que la manière supérieure dont les canons coulés il y a plusieurs années, mais employés récemment, avaient équilibré leur travail, comparés avec ceux d'une confection récente, ne fût pas due, comme on le supposait communément, à la meilleure qualité de l'ancien métal comparé au métal actuel, mais à ce qu'il avait été coulé depuis longtemps, et

* « Construction de l'artillerie. » Instr. aux Ing. civils, 1860.

à ce que les efforts qui existaient dans leur intérieur, à cause, de l'inégalité de contraction quand on les avaient coulés, avait cessé, tandis que les efforts des nouvelles coulées exerçaient encore un effet préjudiciable. Il fut démontré, dans le cas des deux canons dont il a été question, que le canon qui éclata après 800 décharges avait une force de tension de 23,000 livres, et celui qui résista à plus de 2,500 décharges sans éclater avait une force de tension de 29,000 livres par pouce carré. Sur les canons qui éclatèrent trente jours après avoir été coulés l'un avait une force de tension de 27,000 livres, et l'autre une force de tension de 37,000 livres par pouce carré de section. Ces deux canons coulés récemment résistèrent à un moindre nombre de coups que ceux qui avaient été coulés depuis quelques années, quoique le métal de ces derniers fût beaucoup plus faible que celui des premiers. »

369. L'expansion de la couche intérieure du métal par la chaleur du tir est, dans le cas des canons coulés massifs, un avantage direct et hors de prix. Si elle est portée assez loin, non-seulement elle soulage la tension de l'intérieur et la compression de l'extérieur, mais elle renverse le

sens de ces efforts, en plaçant les diverses couches dans la condition d'être également forcées quand la pression élastique atteint son maximum. Mais il ne faut jamais compter sur cet avantage dans la pratique. Un canon peut n'atteindre jamais à l'état exact de l'effort requis; et s'il le fait, il le dépasse à l'instant.

370. La source suivante de faiblesse dans les canons coulés massifs provient de la réduction de la force de tension de la matière. Une barre de fer coulé de 1 po. carré fut coupée dans une barre de 3 po. carrés, et éprouvée avec une barre qui était de 1 po. carré à l'origine. La diminution dans la résistance de la première barre à l'aplatissement fut de 43 % et de 40 % à l'effet transversal. * M. Longridge est d'avis que ** « dans une masse de métal telle que celle qu'il faut pour faire un canon de 68, la perte de force serait d'au moins 50 pour cent. » Dans un canon massif mentionné par le capitaine Rodman, un échantillon enlevé proche les tourillons a manifesté une force de tension de 44,000

* « Rapport de la Commission sur la construction des chemins de fer, » 1849.

** « Construction de l'artillerie, » 1860.

livres pour l'extérieur et de 31,000 livres pour l'intérieur. En sorte que, un canon inégalement refroidi ne présente non-seulement qu'une partie de sa force pour résister à l'effort de la poudre, mais qu'il a encore une force totale moindre que celle d'un canon refroidi uniformément. Ces faits sont complétement compétents pour témoigner de la faiblesse des canons cerclés en fer massif.

371. Le défaut de densité du métal des canons coulés de cette façon est une autre espèce d'inconvénient. M. Mallet décrit ainsi cette condition : * « Dans une coulée ayant deux ou trois pieds de diamètre et même davantage, il n'est pas extraordinaire (avec le plus grand soin de la part du fondeur), de trouver une portion centrale de 6 à 8 pouces de diamètre consistant en une masse spongieuse de cristaux de fer coulé à peine adhérents, qui se présente ordinairement en une masse arborescente faite de cristaux octaèdres ; le tout si délié que l'on peut voir à l'œil nu dans toutes les directions des cavités noires sur une section nouvellement coupée, hors de laquelle

* « Sur les conditions physiques impliquées dans la construction de l'artillerie, » 1856.

on peut souvent saisir à la main des cristaux isolés en un groupe, et si doux qu'on peut facilement enfoncer de quelques pouces dans la masse un ciseau d'acier à pointe aigue comme celui des graveurs et qu'il y pénètre comme dans du plomb ou de la pierre tendre. « La plus pauvre partie de ce noyau s'enlève dans l'âme de la volée, mais la chambre où se fait le plus grand effort est la plus mauvaise partie de la coulée. Il est nécessaire que l'âme soit dure et d'une grande densité pour qu'elle ne puisse s'agrandir par les chocs et par le frottement, particulièrement dans le cas des canons rayés. Le commander Scott assure que, * « étant coulés massifs, les canons avaient un degré de dureté qui était nuisible à leur tenacité, en vue de rendre le centre du canon assez fort pour ne pas être usé à la longue par le frottement du boulet. » Il cite pour exemple certains canons construits à Woolwich.

372. EFFET DE L'AGE SUR LA DURÉE. — Le métal du canon ainsi placé dans une condition contre nature par l'inégalité du refroidissement tend à reprendre au repos sa position naturelle. Trois

* « Construction de l'artillerie. » Instr. aux Ing. civils, 1860.

colombiades de 8 pouces ayant même forme et même dimension, et coulées de la même façon avec le même fer, ont subi l'épreuve suivante : l'une a été tirée immédiatement après la coulée et a manqué au 72e coup. On a tiré les deux autres six ans après ; l'une a résisté 800 coups, et l'autre 2582 (368).

372. PERFECTIONNEMENT DANS LA FUSION *. PROCÉDÉ DU CAPITAINE RODMAN. — Le principal perfectionnement apporté dans la fabrication des canons en fer coulé est le procédé du capitaine

* Les canons Dahlgren au-dessus du calibre de 11 po., dont quelques-uns ont duré plus de 2000 coups, étaient coulés massifs, mais avec un diamètre beaucoup plus grand que leur dimension définitive. On coule maintenant en creux les gros canons pour la marine. Tous les canons rayés sont coulés sans tourillons.

Dans une discussion sur les canons devant l'Institut Francklin (1862), M. Wood, ingénieur en chef, a dit que la méthode du capitaine Dahlgren pour obvier au mal (de l'effort dû à l'inégalité de retrait), consistait à couler le canon sous une forme approchant de celle d'un cylindre, et à enlever au tour à l'extérieur le métal en plus qui avait causé l'effort du retrait inégal, en se refroidissant le premier dans le moule. Les canons étaient coulés massifs ; alors la partie intérieure supposée la plus faible, est enlevée pour faire l'âme. *Scientific american*, 15 novembre, 1862.

Rodman, qui consiste à les refroidir autant qu'ils peuvent l'être par l'intérieur, et à les couler en creux dans ce but. On a décrit dans un chapitre précédent (154) la fabrication et l'épreuve de ces canons.

On a en vue de remédier aux inconvénients de l'ancien procédé; principalement d'obvier à la tendance des fontes massives à éclater par leur propre effort initial, en renversant le procédé de refroidissement et de retrait décrit ci-dessus. Puisqu'il n'y aurait alors aucune force opposée à la contraction des couches intérieures du métal, excepté la légère cohésion de la masse liquide ou pâteuse qui se retire, 1° ils ne resteraient pas en tension et par conséquent, 2° ils ne pourraient exercer aucune force pour pousser les couches intérieures en compression.

374. Mais on ne se propose pas de laisser le métal dans une condition de repos. On essaie par le même procédé de remédier à la force qui manque dans un cylindre creux et que l'on a déjà examiné, c'est-à-dire que l'intérieur est plus étendu que l'extérieur par la pression interne. Le capitaine Rodman cite cette loi d'après le professeur Barlow, et dit quant à la durée plus

grande de son canon coulé en creux * : « L'objet partiel de mon perfectionnement, en cas qu'on ne l'atteigne pas tout-à-fait, consistait à mettre le canon en effort tellement que, sous l'action de la loi de l'effort telle qu'elle a été constatée précédemment, chacun des cylindres infiniment minces qui composent l'épaisseur du canon puisse être amené *au même instant* à l'effort de rupture. »

375. Le procédé du refroidissement se ferait alors comme il suit : Prenant deux des cylindres infiniment minces que l'on a imaginés, l'extérieur du cylindre intérieur s'étant mis en équilibre à un diamètre de deux pieds par exemple, l'intérieur du cercle extérieur aurait à se contracter à un diamètre un peu moindre que deux pieds. En d'autres termes, une longueur donnée de métal devait avoir à se contracter plus dans un cylindre que dans l'autre par la soustraction d'une quantité de chaleur donnée. Maintenant si toutes les parties du fer étaient semblables dans leur composition et leur structure, le refroidissement de toutes les parties

* « Rapports d'expériences sur les métaux à canons, » 1856, p. 212.

dans un temps donné devrait naturellement laisser toute la masse en repos.

Mais on a dit que certaines expériences démontrent que « la contraction du même fer est plus ou moins grande en raison de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle il est refroidi. Celui qui se refroidit le plus vite se contracte le plus. * » Si cela est vrai, quand le canon est refroidi par l'intérieur, non-seulement l'intérieur est refroidi le premier, mais le plus vite, puisque la chaleur n'a qu'à franchir la plus petite distance. De là, l'extérieur se contracte moins que l'intérieur, et le cylindre extérieur infiniment mince, dans le cas que nous avons supposé, au lieu de se resserrer à un diamètre plus petit que deux pieds, de manière à comprimer le cylindre interne, tendrait à s'étendre dans un état de tension, et en s'étendant à être lui-même comprimé; et ainsi de suite à travers toute la masse, ce qui est justement l'état d'effort opposé à celui que l'on demande. Ces résultats seraient très-minimes, mais M. Longridge a démontré qu'une déviation sur la tension convenable de $^1/_{500}$ de

* Rapports d'expériences sur les métaux à canon, 1856, p. 195.

pouce sur un diamètre de 17 po. diminue la force d'un cylindre de 40 pour cent.

376. D'autres expériences indiquent qu'une grande masse de métal se refroidissant la dernière, se contractera sur une plus petite masse qui, étant plus mince, se refroidit la première. M. Wiard a coulé un gros cercle avec une barre mince s'étendant en travers de son diamètre. Le cercle s'est contracté si hermétiquement sur la barre, qu'il ne pouvait pas être facilement brisé. Quand il a été extrait, la barre était beaucoup plus longue que l'espace qu'elle avait rempli.

Les résultats sont au moins si irréguliers qu'il serait presque impossible de produire par cette méthode des efforts exacts d'après la *théorie.*

377. Une autre source d'erreur provient du refroidissement partiel de l'intérieur de la coulée, tandis que les portions intermédiaires sont encore liquides. Le rapport du major Wade sur ce sujet constate que * « la fracture du canon de 10 po. coulé en creux développait des cavités ou des fissures dans la face de la surface fracturée, près de l'avant de la culasse. Les fis-

* « Rapports d'expériences sur les métaux à canons, » 1856, p. 198.

sures sont irrégulières, présentant dans quelques parties un vide ouvert large d'un demi-pouce et long et profond de 4 ou 5 pouces ; dans d'autres parties le métal avait l'apparence d'une éponge; elles existent de 10 à 14 po. sous le col ou la partie la plus étroite de la coulée *, où le fer, en se refroidissant, devient plus vite solide à travers une section transversale entière du canon. La position des fissures marque la place où le fer est resté le plus longtemps liquide, dans cette section de la coulée. Car il est évident qu'elles ont été formées par le fer liquide, s'affaissant dans cette partie, pour remplir les vides produits en dessous par le retrait. La masse du métal qui est en dessous étant plus grande, une partie continuait à demeurer liquide pendant une plus longue période de temps, et jusqu'à ce qu'une section transversale du col fût devenue solide, et cette partie solide interceptant la descente du métal liquide du sommet supérieur qui descend vers le bas, le retrait en dessous ne pouvait être remplacé par d'autres parties que par celles où l'on a trouvé les fissures ; c'est-à-

* Le canon était d'un vieux modèle; la pièce dont il est question est à l'arrière du long renflement de la bouche.

dire, celles qui sont directement en dessous du col de la section transversale, à travers laquelle le métal devient d'abord solide. »

La surface de la partie de la section transversale qui est à l'intérieur de la fissure est des $^7/_{10}$ de la surface de section entière ; et la partie entre les fissures est le $^3/_{10}$ du tout. Cela indique que les $^7/_{10}$ de la chaleur contenue dans le métal liquide se sont échappés en traversant la surface extérieure vers le moule par lequel elle était enlevée ; les $^3/_{10}$ restants de la chaleur passaient en dedans vers le noyau, et étaient emportés par l'eau. »

378. Les efforts seraient alors comme suit : Le métal intermédiaire, encore chaud, après que l'intérieur et l'extérieur se sont mis en équilibre, et après que les parties environnantes sont devenues si pâteuses qu'elles ne pouvaient recevoir de supplément de métal de la part du métal qui s'enfonce, ou d'ailleurs continueraient encore à se contracter, poussant ainsi en tension les parties qui sont à l'intérieur, et en compression les parties qui sont à l'extérieur, et lui-même en tension extrême, ou bien se poussant lui-même à part dans les fortes coulées. Ces efforts, dans toutes les parties des parois de 16 $^1/_2$ po. du canon de 15 po., seraient à peu près égaux

aux efforts faits sur le diamètre extérieur dans le canon coulé massif de 16 $^1/_2$ po., ou à environ la dimension du canon rayé de siége (*fig.* 80) quoique beaucoup moindres que dans le canon coulé massif d'égale dimension.

379. Alors, quelques-uns des efforts dans le canon coulé creux sont dans une direction opposée à celle qui est requise par la formule du professeur Barlow. Et supposant que les couches du canon soient tirées hermétiquement l'une sur l'autre, en allant du centre à l'extérieur, si la chaleur est retirée exclusivement par le dedans, la condition absolue d'un pareil résultat est que le moule sera tenu à la température du fer fondu (2,700°) jusqu'à ce que la couche extérieure extrême du canon commence à tomber en dessous de ce point par la soustraction de chaleur que l'on opère par l'intérieur. Quand cela arrive, il faut faire tomber la température du moule avec la même rapidité; car si elle tombe plus vite, le canon commencera à se refroidir par l'extérieur, et si elle tombe plus lentement, la fixation sur les différentes couches du canon deviendra irrégulière.

En environnant le moule d'une masse de fer fondue plus épaisse que les parois du canon, de ma-

nière à ce qu'il soit toujours plus chaud que le canon, on empêcherait évidemment le refroidissement par en dehors. L'inégale contraction de la même masse de fer, en raison de ses différences chimiques, troublerait dans certains l'uniformité de l'effort que l'on désire.

380. En sorte que, tandis que le défaut des efforts de rupture dans les fontes massives peut être entièrement évité par le moyen d'un moule qui peut être chauffé jusqu'à 2,700°, avant que le fer ne soit versé, il paraît impraticable de mettre les couches extérieures de métal dans une tension réglée avec une précision théorique, par le procédé du capitaine Rodman. Même si l'on atteignait cette tension, le canon en perdrait beaucoup dans un temps, car il est bien connu que les fontes perdent avec l'âge leurs autres efforts originels (368, 372). Les résultats démontrent certainement un vaste progrès sur le canon coulé massif, mais ni la durée des canons coulés creux, ni les charges qu'on leur donne à supporter, ne garantissent la croyance que le fer qu'ils renferment peut être « amené à l'effort de rupture au même instant. » En fait, l'extrait ci-dessus du rapport du major Wade démontre que les $^{7}/_{10}$ de la coulée creuse, étant refroidis par l'ex-

térieur étaient dans une condition d'effort à rebours.

381. La dilatation de l'intérieur du canon par la chaleur du tir troublerait par conséquent les efforts initiaux, mais pas plus que dans le cas du canon cerclé. Si la tension de l'extérieur était insuffisante, les quelques premiers coups l'augmenteraient, et renforceraient l'un ou l'autre canon. Les surfaces spongieuses qui se trouvent au milieu de la paroi d'un canon coulé creux et refroidi par les deux surfaces, permettraient aux couches internes du métal de se dilater davantage, sans forcer les couches extérieures, que si le métal était massif de part en part. Mais l'effort longitudinal de l'expansion par la chaleur du feu ne produit aucun résultat qui le contrebalance. Cet effort est évité dans un grand degré dans les forts canons d'acier, parce que les parois peuvent être minces ; et dans les canons cerclés, parce que le tube interne peut glisser à l'intérieur des cercles ; mais la paroi épaisse de fer coulé doit supporter sa plus grande force. Quand même il serait cerclé avec de l'acier, le fer coulé devrait être tout-à-fait épais pour avoir la force longitudinale nécessaire (304).

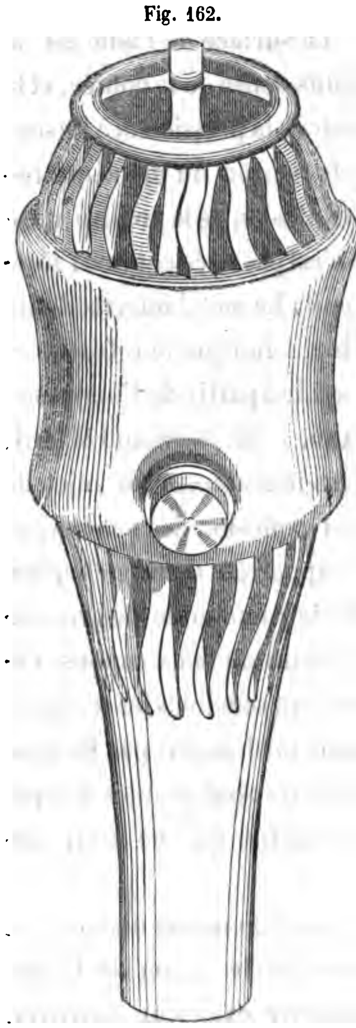
382. Le procédé du capitaine Rodman remédie partiellement ou entièrement aux autres défauts des

canons coulés massifs. La surface de l'âme est la partie la plus dure et la plus dense de la coulée, et la mieux calculée pour résister à la pression et à l'usure du frottement. La force de tension du métal qui reçoit le premier choc de l'explosion de la poudre, n'est pas avariée parce qu'elle n'est pas tirée comme l'intérieur du canon coulé massif. Le métal intermédiaire est plus fort ou plus faible, selon que le refroidissement est plus ou moins rapide à partir de l'intérieur.

383. PLAN DE M. WIARD. — M. Normand Wiard, dont les supputations très-ingénieuses au sujet de l'importante question de l'explosion des canons par la chaleur du tir ont été rapportées dans le chapitre précédent, a reçu une forte commande de gros canons, basée sur la durée de un ou deux canons d'épreuves. Les gravures rendent sensibles les traits généraux de son projet, mais ne donnent pas les proportions exactes. Ces dernières sont le sujet d'expériences étendues, et de calculs qui ne sont pas encore terminés.

Le canon Wiard doit avoir le même diamètre et la même longueur d'âme que le canon de 15 po. de la marine, et un diamètre extérieur d'environ 9 po. de plus; la pièce doit peser 43,000 livres. Les parties intérieures peuvent être refroidies uni-

Fig. 162.

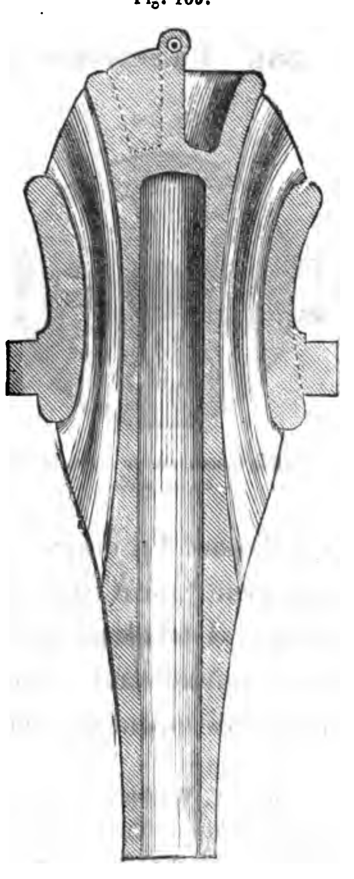


Canons Wiard, en fer coulé.

formément par de l'eau qui traverse les noyaux, entre les côtes et dans l'âme d'après le plan du capitaine Rodman. — La partie extérieure du renfort étant plus épaisse que les autres parties, se refroidira la dernière après la coulée, et est destinée par ce moyen à comprimer le baril avec une telle force, qu'elle amène toutes les parties du métal dans un effort égal au moment du tir, selon la formule du professeur Barlow. Les côtes sont courbées dans deux directions de l'avant à l'arrière, et du baril interne au cercle externe ou renfort, en sorte

qu'ils peuvent faire ressort pour permettre au baril interne de se répandre dans le sens longitudinal, et en rayonnant, comme on en a l'intention par la chaleur du tir, sans forcer sérieusement la structure du canon. Les côtes cèdent aussi durant le procédé de la coulée, sous une contraction inégale qui est due, soit à l'inégalité du refroidissement, ou à la différence chimique de la composition du métal. On se propose qu'elles soient rigides pour résister à la pression de la poudre, et suffisamment flexibles pour plier sous la plus grande force d'expansion, — force qui n'a d'autre limite que la dernière résistance du métal.

Fig. 163.

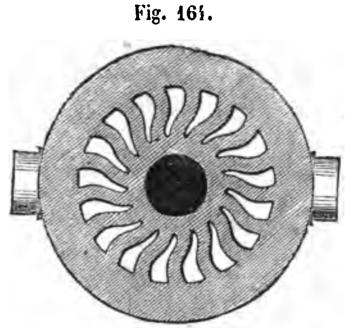


Section transversale du canon Wiard en fer coulé.

L'élasticité de la structure totale serait plus grande que celle des canons sans côtes.

384. 1° Le canon se refroidira sans aucun doute sans efforts initiaux sérieux pour le faire rompre. Toute la pratique en fondant, spécialement en fondant des roues de chariot (auxquelles ressemble une section transversale faite dans le canon), garantit cette conclusion. Un disque de roue plein, qui n'est pas recuit *, peut seulement être étendu ou comprimé, et tellement brisé ou grandement forcé, en se refroidissant, et par conséquent il se met en pièces quand on veut l'employer. Quand un

Fig. 164.



Section transversale du canon Wiard en fer coulé.

* MM. A. Whitney et fils, de Philadelphie, qui ont la plus grande fabrique de roues de voiture qui existent dans le monde, coulent un disque entier de la section transversale du canon en fer coulé de Wiard. Ces roues sont ensuite recuites pendant quelques heures sous la plus haute température que ne saurait enlever le froid de la marche. On fait ainsi disparaître les efforts qui, autrement, détruiraient les roues.

canon a été tellement froncé qu'il plie en se refroidissant dans quelque partie mince destinée à être pliée, au lieu de se briser ou d'être forcé sévèrement dans quelque partie qui ne peut pas être pliée, il supporte un service plus dur que celui qu'on aurait pu attendre d'un canon de fer coulé ordinaire.

385. 2° Par les raisons précédentes on peut employer le fer le plus fort. Il a déjà été démontré qu'un fer supérieur pur, d'une grande tenacité, se resserre trop pour faire une coulée sûre par d'autres plans. Mais les roues de chariot sont coulées aussi solides, du fer le meilleur et le plus fort comme avec le fer le plus faible, parce qu'on en a d'amples provisions pour changer plus ou moins sa figure sans efforts, suivant le besoin.

386. 3° La force principale du canon dépend après tout de la tension convenable et de la force du renfort modifiée par son grand diamètre, de la chaleur du tir et de l'élasticité de ses parties internes.

Comparant le renfort avec une épaisseur égale de métal sur l'extérieur du canon du capitaine Rodman, le premier est refroidi sur tous les côtés pour empêcher un effort inégal et nuisible, dû à ce qu'il peut y avoir un retrait inégal. Le dernier est refroidi (dans la pratique), seulement par l'exté-

rieur, en sorte que sa surface intérieure est forcée et affaiblie. Il paraît alors que le premier serait dans une meilleure condition pour résister à la cohésion. Dans lequel des deux la tension peut-elle être le mieux réglée ?

Le rapport officiel déjà cité (375) est une preuve que la partie externe du canon Rodman est tirée en *compression* par le retrait subséquent du métal intermédiaire. Il ne peut être mis dans la tension désirée, si ce n'est quand on refroidit exclusivement le canon par l'intérieur, et cela ne peut se faire qu'en gardant le moule à une température de 2,700° — procédé si difficile qu'il n'a pas été réalisé en pratique. Mais il n'y a rien pour tirer la partie correspondante du canon Wiard — le renfort en compression. Toutes les parties qu'il renferme se sont déjà refroidies et ont pris leur équilibre. En d'autres termes, la partie qui se refroidit la dernière, règle l'effort du reste. Les parties intérieures et extérieures des parois du canon Rodman se refroidissent d'une manière indépendante l'une par rapport à l'autre, et sans aucun grand effort. Alors le métal intermédiaire se refroidit et met les efforts intrinsèques juste à l'opposé de ceux qui sont requis. Mais le renfort du canon Wiar

se refroidit le dernier, et s'il se resserre davantage, il doit comprimer le tube interne, et être lui-même tiré en tension — ce qui est la condition requise.

387. Quant à l'effort dû à la dilatation par la chaleur du tir : — Supposez que le renfort et le baril soient mis sous une tension et une compression initiales respectives telles que la force de la poudre les forcerait également, et autant qu'ils peuvent l'être avec sûreté dans le service ; si les côtes cèdent sous la pression de la poudre, le baril peut être dilaté au point de rupture avant que le renfort ne soit dilaté au même point. Si les côtes ne cèdent pas sous la pression de la poudre, alors elles ne céderont pas sous une égale pression provenant de l'expansion du baril par la chaleur, en sorte que l'expansion du baril par la chaleur, au-dessus d'une pression égale à celle de la poudre, agira pour étendre directement le renfort qui a été déjà dilaté antant qu'il peut l'être en sûreté. Au-dessus de ce point, le cas est semblable à celui du canon massif ; au-dessus d'une pression égale à celle de la poudre, les côtes peuvent céder à la pression par la chaleur sans forcer le renfort autant qu'il le serait dans un canon massif.

Mais le baril ne sera pas chauffé autant que la

partie correspondante du canon massif, parce qu'il est exposé à l'air sur les deux côtés, et qu'il présente une grande surface rayonnante. En outre, l'expansion longitudinale du baril est la source du plus grand effort, et on y pourvoit dans le canon Wiard par la fronçure longitudinale des côtes.

388. Le diamètre plus grand du renfort est une source de faiblesse relative.

389. Pour résumer le tout, il est probable que le baril et les côtes du canon de M. Wiard peuvent être coulées sans efforts sérieux; que le renfort peut être contracté sur les deux avec un certain degré de tension; que le fer le plus fort peut être employé, et que le canon ne sera pas sérieusement forcé par la chaleur. Le manquement des premiers canons, s'il avait lieu, devrait être attribué à ce qu'on aurait appliqué mal à propos les principes; car les connaissances actuelles au sujet du fer coulé, quelqu'imparfaites qu'elles puissent être, définissent ces principes avec beaucoup de clarté *.

390. Forme du canon. — En ce qui regarde les

* Depuis que cet article a été écrit, le premier canon de M. Wiard ayant été coulé sur des noyaux qu'il était difficile ou impossible de retirer, il n'a pas été foré ou éprouvé. Son second canon a éclaté à l'épreuve.

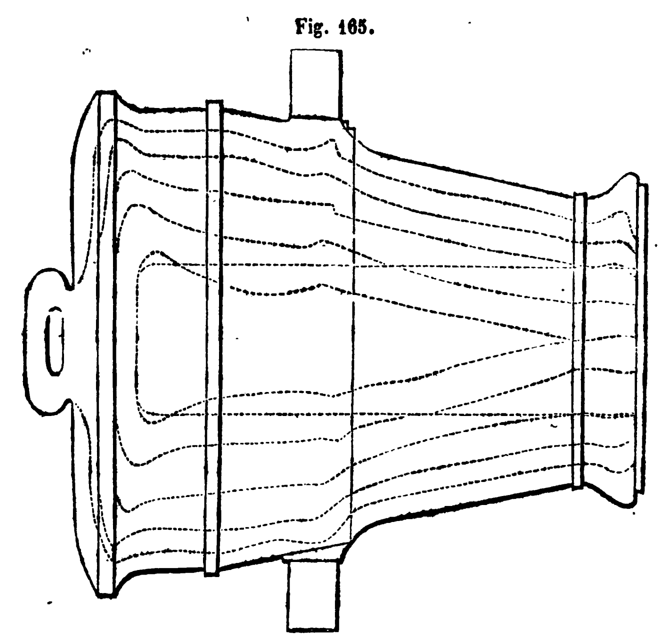
changements soudains dans les dimensions d'un canon, la théorie de M. Mallet est, que les principaux axes des cristaux s'arrangent d'eux-mêmes dans la direction du flux de la chaleur vers l'extérieur, et que partout où il survient des angles rentrants ou des changements soudains de dimension, il y a des endroits faibles qui se produisent *. M. Longridge est d'avis ** que cette explication repose sur des présomptions qui ont une apparence trop arbitraire pour qu'on puisse y ajouter foi. « Il a examiné avec soin plusieurs cas de fracture du fer coulé, et il n'a trouvé aucun exemple où il ait pu se satisfaire lui-même au sujet de la direction définie qu'auraient les cristaux et qui serait de nature à justifier qu'il y a une surface de faiblesse. Ils ont toujours paru comme des masses confuses de cristaux plus ou moins bien déterminés, mais sans être jamais arrangés de manière à donner la certitude qu'il y ait aucune direction uniforme dans ce que M. Mallet appelle leurs axes principaux. » M. Longridge pense que, « sans avoir recours à cette théorie la loi seule du refroidissement rend complète-

* *** « Sur les conditions physiques impliquées dans la construction de l'artillerie, » 1856.

** « Construction de l'artillerie. » Inst. des Ing. civils, 1860.

ment compte de la source de faiblesse des cas en question. Partout où il y a une variation dans l'épaisseur, il doit survenir aussi une différence dans l'intensité du refroidissement. Cela seul doit donner naissance à une variété de serrage parmi les parties du métal qui, sans aucun doute, diminue son efficacité comme substance résistante. *** Prenez, par exemple, le croquis ci-joint (*fig.* 165),

Fig. 165.



Canon exagéré en grosseur pour démontrer les effets d'un refroidissement irrégulier.

d'un canon exagéré dans ses proportions pour ren-

dre la chose plus évidente, et supposez qu'il s'est refroidi après la coulée. Quoique, dans l'état actuel de la science sur cette matière, il serait impossible de déterminer la position absolue des lignes isothermes à une période quelconque du refroidissement, il est pourtant certain qu'elle doit se rapprocher des lignes ponctuées qui se voient dans le tracé ; et si ces lignes suivaient quelque loi déterminée, ce serait la ligne d'efforts égaux de diverses parties du canon une fois refroidi. *** Partout où il se présente un changement de dimension, le refroidissement donnera naissance à des efforts variables, qui peuvent contribuer aux fractures qui ont lieu dans ces places particulières. »

La forme des canons telle que chaque partie ne supporte que l'effort qu'elle doit sans perdre de matière, a été très-bien étudiée par les dessinateurs américains (149). Cela n'ajoute rien au prix d'un canon coulé, et c'est un avantage évident du fer coulé et du bronze sur le fer forgé et l'acier.

391. Résistance au choc et a l'usure. — La dureté du fer coulé, comparée à celle du fer forgé et du bronze, le met en état de résister mieux aux changements de forme, par suite de la pression et de l'usure due au frottement. Les chambres des

canons de fer forgé s'agrandissent presque invariablement sous les fortes charges, et les projectiles rayés coupent souvent leurs rayures. Les canons Parrott de 100, en fer coulé, ont tiré 1000 projectiles explosifs (à anneau de bronze), sans agrandir ou user leur âme d'une manière nuisible.

392. Poids. — Le grand poids des canons en fer coulé pour une force donnée n'est pas en tout cas une objection sérieuse. Autant qu'il s'agit de prévenir un recul excessif, les récents perfectionnements des freins compresseurs permettront de faire disparaître l'inconvénient de l'excès du poids. D'autre part, les canons très-légers en acier de M. Krupp ont été placés dans de lourdes enveloppes qui n'ajoutent aucune force, mais soulagent simplement le recul. C'est surtout une question d'emplacement à bord et de prix. Dans un fort, une augmentation de poids de quelques mille livres, en diminuant quelques mille dollars sur le prix du canon, serait à rechercher si on pouvait faire abstraction de la force en examinant la question. D'autre part, on dit qu'un armement de canons de 11 po. contrarierait les qualités nautiques de quelques-unes de nos canonnières et de nos croiseurs légers ; il est de fait que par une grosse mer ces

canons ne sont pas maniables à bord des petits navires.

393. Prix. — Le principal argument en faveur du fer coulé, en tant que matière à canons, est son bon marché quand on le compare au fer forgé et à l'acier. Pour convertir et donner la forme au dernier métal, avec une grande dépense de combustible et de main d'œuvre, en usant ses machines et en perdant de la matière, il coûte en Angleterre, où les prix sont les plus bas, de 20 à 40 cents par livre; le prix des gros canons monte plus vite que leur poids. Pour fondre le fer coulé, préparer les moules, rhabiller les surfaces déjà formées, il faut de 7 à 13 cents par livre, ce qui est environ la moitié du prix du fer forgé pour un calibre donné (Tableau 27). Mais le calibre ne donne pas toujours la mesure du travail. Si les canons de fer coulé ne résistent pas à la charge de poudre qui est nécessaire, ils sont de l'argent gaspillé, quel que soit leur bon marché. Mais si une somme fixée est convertie en canons, on n'en achètera pas assez des meilleurs pour défendre tous les points qui ont de l'importance, et il est indubitable qu'il vaudrait mieux en acheter une partie à bon marché, au risque d'en avoir de faibles.

Mais il ne s'ensuivrait pas qu'ils fussent tous faibles parce qu'on les aurait à bon marché.

On peut cependant utiliser le fer coulé, sans faire des canons faibles. Quand ils sont renforcés avec du fer forgé ou de l'acier, et particulièrement quand ils sont doublés en acier à l'intérieur, d'après les plans qu'on a décrits, ils ont le double mérite du bon marché et de la force. D'autre part, on ne devrait mettre à bord des navires cuirassés que les meilleurs canons, quel que soit leur prix, puisque là, non-seulement ils sont en position de faire la meilleure besogne, mais qu'ils y seraient le plus efficaces, quand même leur nombre serait diminué.

SECTION III. FER FORGÉ.

394. FORCE. — Le fer coulé est dans un état si cru que le nombre et la proportion des ingrédients qui tendent à le détériorer sont irréguliers et imparfaitement connus dans la pratique, tandis que le fer forgé étant un métal relativement raffiné n'a pas nécessairement des qualités aussi variables, et

est ainsi beaucoup plus fort. « La conversion du fer coulé en fer forgé, par l'enlèvement du carbone et du silicium, change complètement le caractère de la matière. Le métal a perdu sa propriété cassante ; il cède alors et s'étend avant de rompre. Le point jusqu'auquel il peut céder d'une manière permanente est maintenant plus élevé que l'ancien point de rupture, et son point de rupture est le double de celui où il commence à céder. * »

395. La force moyenne de tension des meilleures qualités de fer forgé est d'environ 60,000 livres par po. carré, ou environ le double de celle des meilleures qualités du fer coulé à canons. La mesure des bonnes marques s'étend selon Nystrum **, de 56,000 à 65,000 liv. ; selon Haswell ***, de 60,000 à 72,000 liv. ; selon Templeton ****, elle est de 64,000 liv. pour le fer américain, et de 55,872 pour le fer anglais. Whildin ***** donne le tableau 56 des forces de tension :

* M. Anderson (surintendant de la fabrique royale de canons). Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, août, 1862.

** « Mécanique de Nystrum, » 1862.

*** « Pocket-book des Ing. et Mécaniciens, » 1860.

**** « Pocket-companion des Ing. et Mécaniciens, » 1854.

***** « Expériences sur le fer forgé et l'acier, » 1862.

TABLEAU LVI. — **Forces de tension du fer forgé.**

Barres de fer	Salisbury, Connecticut.....	66000 liv.	Inst. Franklin.
	Bellefonte, Pa	58000	
	Anglais.................	56000	
	Pittsfield, Massachussett ...	47000	Maj. Wade.
	Maramec, Mo............	43000 53000	

Selon M. Kirkaldy, la moyenne la plus élevée pour les barres anglaises roulées est :

	Inférieur.	Supérieur.	Moyen.
Govan B. Best $\frac{5}{4}$ po., rond.........	61864	66553	64795

Le fer moyen inférieur pour barres anglaises roulées est :

	Inférieur.	Supérieur.	Moyen.
Ystalyfera puddlé, $\frac{3}{4}$ × 1 po., plat.	36979	40977	38526

TABLEAU LVII. — Résultats sommaires des expériences * de Kirkaldy, sur le fer anglais martelé.

	Inférieur.	Supérieur.	Moyen.
	liv.	liv.	liv.
Bribes de fer forgées.............	52665	54070	53420
Fer au boisseau Id.	54070	57526	55878
Fûts faibles, bribes, coupées, longueur.	46450	49671	47582
Id. , Id. , Id. , Id. .	43420	44561	43759
Id. , Id. , Id. , en travers	44453	44703	44578
Id. , Id. , Id. , Id. .	32582	40467	38487
Plaq. d'arm. Id. , Id. , Id. .	36646	40745	38868
Id. , Id. , Id. , Id. .	34614	39213	36824

* « Expériences sur le fer forgé et l'acier, » 1862.

M. Kirkaldy dit : « On a généralement constaté que l'effort de rupture du fer forgé était d'environ 25 tonnes par po. carré pour le fer forgé en barres, et de 20 tonnes pour celui forgé en plaques. Ce résultat correspond à peu près à ceux qui ont été fournis par les expériences de l'auteur. » Selon M. D. K. Clark *, les meilleures plaques du Yorkshire pour chaudières donnaient une moyenne de 25 tonnes (56,000 livres), les meilleures du Staffordshire, 20 tonnes (44,800) ; les meilleures américaines, 70,000 liv., et les plaques américaines ordinaires 60,000 liv. L'autorité de M. Clark, quant aux plaques américaines, est M. Zerah Colburn.

M. Anderson assure ** que la force moyenne des glènes du canon Armstrong, dans la direction de leur circonférence, est 55,500 liv. Les instructions aux fabricants de fer leur prescrivent une tenacité qui n'excède pas 65,000 liv. et qui ne tombe pas au-dessous de 56,000.

Les figures précédentes sont destinées simplement à donner une idée générale de la tenacité du fer forgé. Son élasticité et sa ductilité sous divers traitements, et les qualités qui le rendent propre à

* « Pratique récente » dans la machine locomotive, 1860.
** « Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, » août 1862.

des usages particuliers, ne sont pas mesurées exactement d'après la force de tension, et il en a déjà été question plus haut.

396. UNIFORMITÉ. — Quoiqu'il y ait un grand intervalle entre la force des spécimens inférieurs et supérieurs de fer forgé, il est dans la pratique beaucoup plus uniforme que le fer coulé, c'est-à-dire que le fer, pour un service donné, peut être choisi avec beaucoup plus de certitude. Le fer pour plaques de cuirasses essayé par M. Kirkaldy avait en effet une moyenne d'environ 37,000 liv. ; mais on a trouvé que la mollesse et la ductilité étaient les meilleurs indices de convenance pour ce service particulier. La force inférieure de la plaque de cuirasse et pour arbre de couche (45,670 liv.), était due dans une certaine mesure au procédé de manufacture, — en forgeant une grosse masse solide ; c'est néanmoins un argument contre le procédé seulement, si l'on peut démontrer qu'un autre procédé quelconque peut utiliser toute la force de la matière.

D'un autre côté, il paraît, d'après l'assertion de M. Longridge, que le fer coulé envoyé à Woolwich pour épreuve, — chaque fabricant supposant indubitablement que son fer était le meilleur *pour*

canons, a varié continuellement de force pendant la durée des épreuves, depuis 10,080 jusqu'à 33,600 liv. La simple fracture du fer forgé (y compris l'acier puddlé qui est le même dans cette particularité) met sa qualité si bien en relief, que, d'après l'expérience, les produits les plus uniformes, — comme les bandes de roues de Low-Moor et les aciers de Krupp et de Wicker, — sont des fers composés. M. Anderson dit à cet égard * : « Le fer forgé n'est jamais supérieur, ni jamais inférieur; au contraire, le fer forgé, selon que le fabricant particulier sera soigneux dans sa fabrique, sera trouvé presque uniforme et possédant une grande tenacité, et n'étant nullement sujet à casser, il doit inspirer la plus grande confiance autant que sa force peut le permettre. »

C'est en effet là le grand avantage du métal raffiné sur le métal cru. Chaque pas que l'on fait dans le progrès, on comprend mieux son caractère.

Une autre source d'embarras dans l'usage du fer coulé — c'est l'inconvenance des variétés les plus fines et les plus fortes pour canons (358) — ne

* « Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, » août 1862.

peut s'appliquer que dans une certaine mesure au fer forgé, et provient d'autres causes. En fait le grand nombre de défauts qui se produisent *en fondant*, quoiqu'ils ne soient pas taxés de défauts sérieux pour *la fabrication*, sont évités dans l'usage du fer forgé et de l'acier.

397. Ce que l'on avait dit de la détérioration moyenne du fer coulé, pendant le dernier demi-siècle, paraît être vrai du fer forgé, M. Hughes remarque *, que « ceux qui ont écrit sur la force du fer dans le siècle dernier, ont rarement assigné au fer en barres une force de tension inférieure à 30 tonnes par po. carré, comme le poids qui séparerait en deux en la déchirant une barre de fer forgé ordinaire de 1 po. carré. Ainsi Emerson estime à 34 tonnes la force de tension d'une barre de fer.; Telford, à 29.29 ; Drewry, à 27 tonnes ; tandis qu'à présent Templeton l'estime à 25 tonnes ; Beardmore à 26.8 ; Brown à 25 tonnes ; et Eaton Hodgkinson, probablement d'après des expériences plus soignées que tout autre, à 23.817. La manufacture du fer dans cette contrée (la Grande-Bretagne), a atteint un développement énorme, qui malheureu-

* « The Artisan, » février 1858.

sement n'a pas été accompagné d'un accroissement de qualité correspondant. Au contraire, tous les premiers expérimentateurs ont trouvé que l'ancien fer avait une plus grande force que celle possédée par les meilleures qualités du fer actuel. »

398. Cette détérioration est attribuée à diverses causes, comme de « puissants secrets chimiques » qui mettent les fabricants en état de travailler des fers inférieurs, et « l'esprit de spéculation » qui s'y étend dans une certaine mesure. Mais aussi longtemps que les procédés, — pour la première fusion, le puddlage et l'empilage, etc., — emploieront le minerai et le fer comme s'ils étaient uniformes et sans tenir compte de leurs différences physiques respectives, à peu près de la même façon que certains systèmes de médecine en usent avec le corps humain, sans tenir compte des différences de constitution et d'intelligence, les moyens et les occasions d'un perfectionnement général feront défaut, et toute négligence dans les soins à donner, et la fidélité à observer lors de la manipulation mèneront nécessairement à la détérioration du produit. Le choix, la composition et l'élimination des matières, en tenant compte de leurs rapports *chi-*

miques avec le résultat désiré, constituent un nouveau système de traitement, qui n'est qu'approximativement développé dans le procédé Bessemer, mais qui est destiné à apporter beaucoup plus d'uniformité et de certitude dans l'appropriation du fer à ses divers services.

399. Découverte de faiblesse. — La qualité la plus importante du métal à canons consiste évidemment à donner, quand il est prêt à manquer, des signes auxquels on ne puisse se méprendre. Comme matière d'expérience professionnelle, la découverte d'une fracture qui s'approche dans les canons de fer coulé, peut être déterminée sans aucun doute, d'après des craquements minimes et d'autres preuves délicates. Mais du fait que le fer coulé se fracture dans la machine à épreuve à l'instant où son allongement devient perceptible, ces observations doivent être très-vagues pour l'observateur spécial, et tout à fait obscures pour les personnes qui, placées sur les flottes et les forteresses d'un pays, sont en position de décider la matière, quelque attention qu'elles puissent y apporter.

Le fer forgé et le bas acier continuent à se dilater après le point d'allongement permanent.

M. Anderson constate * que, « d'après plusieurs centaines d'expériences qui ont été faites avec du fer forgé coupé sur des barres destinées à la fabrique des canons Armstrong, on a obtenu le résultat suivant : le point où il cède d'une manière permanente donne une résistance moyenne de 28,000 livres par po. carré, tandis que le dernier point de rupture donne une moyenne de 57,120 liv., ou plus du double du point où l'allongement permanent commence; l'intervalle qui existe entre ces deux quantités a une grande importance comme condition de sûreté. » On a trouvé que dans les grosses pièces de forge, le point où le métal commence à céder, et celui où il se brise quoique inférieurs tous deux, conservent entr'eux le même rapport. M. Anderson dit que « le point moyen où le fer cède d'une manière permanente était 23,760 liv., le point moyen de la dernière fracture étant 48,160 liv. Les pièces forgées d'où les spécimens étaient coupés étaient tous de qualité supérieure. »

Le fait que sur 3,000 canons Armstrong en fer forgé, pas un seul n'a éclaté par explosion, ou sans donner un avertissement, est une preuve complè-

* « Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, » août 1862.

tement satisfaisante à cet égard. Le fait que plusieurs canons de fer forgé masssif, — le canon du *Princeton* (426) par exemple, — ont éclaté sans avertissement préalable, est dû à la dégradation du fer dans le procédé de fabrication. Le comité de l'Institut Francklin a trouvé par expérience que la surchauffe avait détérioré le fer de ce canon de 50 pour cent, pendant la fabrication.

400. Il s'agit ici d'un canon fait entièrement de fer forgé, les auteurs ne sont pas d'accord sur l'usage des cercles de fer forgé que l'on met sur les canons de fer coulé. Le capitaine Blakely, et d'autres auteurs anglais disent que sa limite d'élasticité est trop inférieure pour lui permettre la tension nécessaire. Si cette limite est dépassée, ou si sous des efforts qui reviennent constamment, les particules se réajustent d'elles-mêmes et acquièrent une nouvelle limite d'élasticité, les anneaux cesseront après un certain temps de comprimer ce qu'ils renferment. Le capitaine Parrott emploie un meilleur fer, sans doute, et ne trouve pas un changement sensible de figure dans le renfort du fer forgé après mille coups tirés par le canon. Ce canon est cependant sous une basse pression, quand

on le compare à celles qui seront requises pour percer les modernes cuirasses.

401. RÉSISTANCE A LA COMPRESSION ET A L'USURE. — L'une des qualités à rechercher dans le métal à canons est ainsi exposée par M. Anderson dans l'article cité plus haut : « — C'est que la matière soit suffisamment dure, de sorte que la surface de l'intérieur de l'âme ne soit en aucune façon ébréchée ou broyée, et qu'elle ne ressente pas autrement l'action du boulet ou de la poudre, ou les fractures prématurées ou les explosions de l'obus dans l'âme. » Il donne alors les détails d'une série d'expériences importantes faites à Woolwich, pour déterminer la convenance respective des métaux à canon à cet égard. Il est remarquable que dans la résistance à la compression, le fer coulé, le fer forgé et l'acier, ont plus d'analogie et de rapprochement que dans aucune autre de leurs propriétés.

« La pression par pouce carré requise dans l'un ou l'autre métal, pour produire une ébréchure permanente sensible et qui raccourcisse la mesure d'environ $^{3}/_{1000}$ de po., varie entre 30,500 et 40,700 livres. »

« Dix spécimens provenant de canons de la meilleure qualité, mais dont plusieurs avaient éclaté,

ont donné 35,000 liv. par po. carré, produisant une compression moyenne de 3 millièmes de pouce; le plus doux donnant 30,000 liv. et le plus dur 40,800 liv.

« Dix spécimens de barres coulées en fer forgé, faites spécialement pour canons, les spécimens étant choisis au hasard et réduits dans des barres de 3 po. carrés, toutes de qualité supérieure et convenables pour canons, ont donné une moyenne de 33,000 liv. par po. carré, avec une compression moyenne de 3 millièmes de po; le plus doux exigeant 31,000 liv. et le plus dur 35,000. »

« Dix spécimens de fer forgé, coupés dans de grosses pièces de forge de qualité supérieure, ont donné une moyenne de 26,900 liv. produisant une compression moyenne de 3 millièmes de pouce; le plus doux donnant 22,800 liv., le plus dur 31,000. »

« Dix spécimens d'acier fondu doux de la plus belle qualité, et qui avait ou bien résisté aux coups d'épreuve, ou qui avait manqué avant que les 7 coups d'épreuve n'eussent été tirés, ont donné une moyenne de 35,500 liv. par po. carré, avec une compression moyenne de 3 millièmes de pouce; le plus doux étant 25,000 liv. et le plus dur 46,000. »

« Dix spécimens d'acier coulé plus fin que le

précédent, et d'une qualité presque bonne pour instruments tranchants, mais qui se sont brisés au premier coup d'épreuve, ont donné une moyenne de 76,000 livres par pouce carré, avec une compression moyenne de 3 millièmes de pouce. »

« Un spécimen d'acier coulé, coupé dans un canon fait par M. Krupp d'Essen, dans un canon qui a manqué à la première épreuve a donné 25,300 livres par pouce carré, avec une compression de 3 millièmes de pouce. »

« Quatre spécimens d'acier et fer, soudés ensemble comme des couches de sandwiches, ont donné dans la direction de la fibre, c'est-à-dire, en pressant l'acier et le fer sur le can du sandwich, une moyenne de 26,000 livres par pouce carré, avec une compression moyenne de 3 millièmes de pouce. »

« Quatre spécimens sur le plat du sandwich, pressant aussi les deux métaux plus près l'un contre l'autre, ont donné une moyenne de 25,400 livres par pouce carré, avec une compression moyenne de 3 millièmes de pouce. »

« On verra ainsi, conformément à ces expériences, qui ont été faites toutes sur des spécimens préparés, avec soin, ayant exactement un pouce de long et $^1/_2$ pouce de diamètre, que la résistance

moyenne à une compression de 3 millièmes de pouce, ou au raccourcissement, a été comme suit :

Tableau LVIII. — Résistance du fer et de l'acier à la compression.

1.	Acier coulé	35500 liv.
2.	Fer coulé	35000
3.	Barre de fer forgé	33000
4.	Forge de fer forgé	26900
5.	Sandwich, fer et acier sur can	26000
6.	Sandwich, fer, acier sur plat	25400
7.	Acier coulé de Krupp	25300

La résistance inférieure de l'acier de Krupp à la compression est l'épreuve d'un simple spécimen. Le fait que l'étoile mobile ne montrait aucune compression dans un canon de cet acier après 3,000 coups et une épreuve extraordinaire d'une sévérité inusitée (137), est une preuve au moins que la dureté était suffisante.

402. Les chambres des canons en fer forgé ont été affouillées d'une manière permanente par le gaz de la poudre. Dans l'article qu'on vient de citer, M. Anderson dit : — « Dans les canons de fer forgé qui ont heureusement résisté aux épreuves, des défauts minimes paraîtront quelquefois après un nombre de coups ordinaire dans le service ; de semblables défauts ont exigé des coups répétés

pour être mis en évidence et pouvoir être examinés, chaque salve agissant successivement comme le coup d'un énorme marteau d'enclume et produisant graduellement une altération de formes dans l'âme ou dans d'autres parties de la structure. »

M. Anderson a attesté devant la commission de défense *, en parlant du canon Armstrong en fer forgé, « que l'effet produit avec les hautes charges est très-considérable pour comprimer le fer et altérer ses dimensions. *** Dans les plus forts canons qui aient été essayés, il y a plus d'effet produit que dans les petits. *** Nous trouvons que les plus gros canons sont affectés à une petite étendue ; ils rapportent rarement de l'épreuve la même dimension qu'ils y ont apportée » Pour répondre à différentes demandes, M. Anderson a constaté que le canon de 100 était considérablement augmenté en diamètre par quelques coups tirés en commençant, et que quelques petits canons s'élargissaient aussi dans une certaine proportion.

403. Dans une autre occasion **, M. Anderson a dit qu'il désirait se servir d'un fer forgé dur, pour éviter l'affouillement, mais que « le plus dur que

* « Rapport des commissaires de défense, » 1862.

** « Rapport du Comité élu sur l'artillerie, » 1862.

nous ayons est aussi le moins convenable pour être soudé ; maintenant, on a la chance, quand le fer est dur, que quelque portion ne soit pas soudée, et alors la poudre agit sur cette partie et la rend plus mauvaise en peu de temps, et il devient nécessaire de retirer l'intérieur du canon, et d'y mettre une autre doublure. »

Il a dit aussi que la matière à laquelle sir William Armstrong est disposé à se confier, est le fer forgé qui a plusieurs défauts dont le plus grand est sa mollesse, ou sa disposition à se laisser mordre; nous employons maintenant du fer forgé capable de résister à une pression de 33,000 livres par pouce carré, mais qui est beaucoup trop mou : le pouvoir de résistance à la pression devrait être presque 50,000 livres par pouce carré, pour produire une compression sensible; encore le fer forgé est-il très-défectueux. Car quand le canon vient à être assemblé, s'il est fait de matière dure, un des résultats du carbone qu'il renferme le conduit à faire des vessies et des défauts dans sa soudure, en sorte que quand on vient à éprouver le canon, l'âme peut être défectueuse et a besoin d'être enlevée pour être remplacée par une autre. En commençant notre manufacture, nous nous adressions

à sept ou huit des premières maisons pour l'espèce de matière dont nous avions besoin, mais aucun des fers que nous obtenions n'était assorti à notre but ; il était rempli de vessies et ne se soudait pas convenablement, ce qui avait pour conséquence d'obliger à recommencer la moitié des canons. Par suite de cela, quelques fabricants plus capables que les autres ont vu ce qu'il nous fallait, nous avons obtenu de meilleur fer, et celui que nous avons à présent est passable, avec une puissance de 33,000 livres par pouce carré, pour résister à la compression intérieure, et une tenacité maximum représentée par 57,120 livres, comme force de fer dans le sens de l'extérieur; mais les glènes de fer ont une force différente dans la direction latérale. »

Sir William Armstrong a dit devant la commission de défense au sujet de son propre canon : « Avec un long boulet et une charge qui devrait lui donner une grande vitesse, on risquerait d'avarier le canon. Le canon aurait aussi à être fait plus long qu'il ne convient. Si vous tirez un boulet long avec une charge très-forte, vous atteignez un point où la matière commence à s'écraser ; le métal de la chambre cède à la pression et est déplacé ; le canon commence à perdre sa forme, et par consé-

quent il est désirable de conserver une vitesse inférieure modérée. »

404. Le tableau LIX montre l'agrandissement permanent d'un canon de 40 (4. 75 po) fait par la compagnie de la Mersey, après cent dix-sept salves de charges croissantes. Le fameux canon Horsfall a été agrandi au siége de la charge.

TABLEAU LIX. — Expansion du canon de 40, fabriqué par la Compagnie des fers et aciers de la Mersey.

(*D'après le rapport du Comité élu d'artillerie*, 1863).

POSITION DE L'AGRANDISSEMENT.	Expansion verticale.		Expansion horizontale.	
	Du bout de la culasse.	Augmentation du diamètre.	Au bout de la culasse.	Augmentation du diamètre.
	pouces.	pouces.	pouces.	pouces.
Dans la chambre à poudre, diamètre originel, 4.96 po	2	.031	2	.025
	$6^3/_4$	.046	$6^3/_4$	.044
	$12^1/_2$	.068	$12^1/_2$	.064
Dans la chambre à boulet, diamètre originel, 4.825 po....	$14^1/_2$	.095	$14^1/_2$	.087
	$20^1/_2$	.374	$20^1/_2$	.314

Le canon était rayé comme le 40 Armstrong. Il a tiré 100 coups avec la charge de 5 livres du service, et des cylindres dont le poids a augmenté de 40 à 100 livres, et aussi avec 17 doubles charges du service à 10 livres et un boulet de 40 livres.

L'âme est aussi profondément fissurée tout autour à partir de 75 pouces de la bouche jusqu'au bout de la chambre à poudre.

Il y a des exemples que des canons Armstrong ont manqué pour ce motif; ils sont mentionnés sous un autre titre (voir 444 et tableau 64).

405. Telle est la principale objection élevée en Angleterre contre le fer forgé. Elle peut devenir un défaut sérieux, sous les hautes pressions que les futurs canons auront à supporter.

Mais cette morsure du fer diminue son épaisseur et augmente sa longueur, c'est-à-dire qu'elle l'étire comme sous un martinet. Aussi loin que la chose peut le faire, sans diminuer sa force, le résultat, dans un canon forgé massif sans efforts initiaux, est un bienfait incontestable, parce qu'il tend à mettre le métal intérieur en compression et le métal extérieur en tension, en sorte que tous deux seront plus également forcés à l'instant du tir (287). Mais si on a déjà établi les efforts initiaux les plus convenables, comme dans un canon cerclé, l'agrandissement du métal intérieur par la pression ou la chaleur tend à les déranger et à affaiblir le canon. Quant à la compression, M. Anderson dit * qu'après un certain temps le fer perd son équilibre et ne se dilate pas davantage, et « qu'il devient très-dur

* « Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, » août 1862.

après peu de temps. » Il ressemble donc davantage à l'acier et est plus capable de résister à l'usure du projectile.

406. La dureté des métaux, — leur résistance à l'érosion comme à l'usure des projectiles, — augmente leur résistance à la compression. La dureté moyenne de l'acier est supérieure, et celle du fer forgé inférieure. Le fer coulé est si bien adapté pour cet objet, qu'il tire 1,000 projectiles rayés sans avarie sensible (80). L'usure du fond des rayures dans les canons de fer forgé n'est pas un cas rare, ce résultat est aggravé par la pureté relative de la matière, et sa plus grande corrosion par le gaz de la poudre. Dans le cas des glènes, les effets de cette corrosion, et de l'oxydation quand le canon est humide, s'observent dans la forme des rainures minimes qui courent en suivant le grain du fer. La rayure multiple de Armstrong les croise presque à angle droit, de sorte que l'âme sur laquelle on agit de cette façon présenterait une surface d'élévation et de pointes extrêmement minimes. Mais l'acier et le fer coulés ne sont pas labourés par la corrosion ; ils sont plutôt adoucis et même diminués.

407. Défaut d'homogénéité. — Le grand défaut du fer forgé est qu'il n'est pas homogène. Le

procédé de puddlage qui le produit, le procédé de l'empilage par lequel on agrége de grandes masses, et le procédé de la soudure au moyen duquel on assemble toutes les parties grandes et petites, sont autant de moyens qui interposent des couches d'impuretés et des places de faiblesse.

408. SOUDURE. — Le métal en gueuse ne peut pas produire le fer forgé en masses plus grandes que des boules puddlées, pesant de 200 à 300 livres. Avant que ces boules ne puissent être couchées l'une contre l'autre pour être soudées comme une fleur, la surface s'oxyde et empêche une union parfaite. On forme de grosses masses, en soudant de petites pièces au bout d'une barre ; la surface entière de chaque pièce étant exposée à l'oxydation. Il est aussi difficile d'empêcher de renfermer le fraisil dans quelques points, au lieu de le serrer en dehors. De petites soudures, faites sous le marteau à main avec une chaleur uniforme, sont par conséquent beaucoup meilleures, et elles sont plus faibles que la barre solide. M. Anderson * a trouvé que deux barres de la plus belle qualité de fer, proprement chauffées dans un feu libre d'impuretés, pou-

* « Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, » août 1862.

vaient être soudées ensemble d'une telle façon qu'elle fussent aussi fortes qu'une barre solide sans soudure (56,000 livres), rien qu'en étant amorcées l'une sur l'autre, ce qui augmente la surface au point que la surface soudée est beaucoup plus grande que la surface fracturée.

« Avec toutes les autres manières de souder que j'ai encore essayées, dit M. Anderson, le résultat est inférieur au précédent de plus de 12,000 livres par pouce carré, quand on a mis le même soin dans les deux cas. Deux pièces de la même qualité de fer, buttées ensemble sous la meilleure condition dont j'aie été capable jusqu'à présent, n'ont donné qu'une tenacité moyenne de 32,140 livres au maximum par pouce carré, ce qui n'est qu'un peu plus de la moitié du fer en barres.

« Un bout de fer soudé à l'acier sous les meilleures conditions se brise invariablement à la soudure, et ne présente qu'une tenacité moyenne de 26,800 livres. Mais cela dépend entièrement de la nature du fer et de l'acier. Toute augmentation de dureté, ou de la propriété de l'acier, soit dans le fer soit dans l'acier, affecte la force de la soudure dans plusieurs cas et la fait descendre au-dessous de 10,000 livres et même plus bas. Dans la cons-

truction des canons Armstrong, la barre de fer est d'abord ployée en glène spirale, et alors on répand à travers toute la masse la chaleur pour la souder, et au moyen d'un marteau à vapeur on la soude en cylindre homogène. Avec le meilleur fer que nous ayons pu obtenir jusqu'ici, la tenacité moyenne la plus élevée de la glène soudée a été de 32,140 livres par pouce carré, celle du fer étant de 55,500 livres.

« Avec un autre fer d'une qualité supérieure et d'une tenacité encore plus grande que la première, la tenacité des soudures s'est abaissée de plus de 10,000 livres par pouce ; d'où il suit qu'un pareil fer, quoiqu'il soit fort et qu'il ait les propriétés de l'acier, ne convient pas pour faire des glènes, son défaut étant dû à la répugnance des fers les plus durs et les plus forts pour s'unir, quand ils sont portés à une température qui ne nuirait pas autrement à la qualité de la matière, et lui ferait des vessies. »

« M. Kirkaldy conclut * qu'il existe une grande variété dans la force des barres de fer qui ont été coupées et soudées ; tandis que quelques-unes por-

* « Expériences sur le fer forgé et l'acier, » 1862.

tent presque autant que les barres non coupées, la force des autres est réduite d'un tiers. »

409. Forme. — Un canon en fer forgé massif, peut être mis au tour pour lui donner la forme Dahlgren (voir le canon de Ames, 129), de manière à avoir la plus grande force avec le poids le plus petit. La dépense decette opération, bien que considérable, est beaucoup moindre que celle qu'il faudrait faire pour tourner les cercles d'un canon que l'on bâtirait sans cela, et par l'intérieur.

410. La ligne extérieure d'un canon cerclé, est presque nécessairement une série de courbes aiguës et d'angles droits. La faiblesse des canons en fer coulé à angles rentrants, qu'on a déjà expliquée, est évidemment due au procédé de la coulée, et ne s'appliquerait pas à un canon bâti. Il est bien connu cependant, spécialement dans le cas des essieux de chemin de fer, qu'un épaulement aigu tourné sur une barre de fer ou d'acier soumise à des chocs continuels, est une source de faiblesse, et le point de départ assuré d'une fracture. Aussi loin que la fracture provienne de la vibration inégale des parties adjacentes, il paraîtrait qu'il n'y a aucune différence entre la formation de ces épaulements en tournant une barre de fer avec des dia-

mètres différents, et en construisant une petite barre du même diamètre qui serait contractée sur des cercles plus grands. Un essieu de rail-way est un chevron, et les morceaux dont on peut supposer un canon construit sont des chevrons et par conséquent, ils sont sujets aux mêmes sources de faiblesse. Encore la pratique des canons de fer forgé ne paraît pas avoir encore démontré qu'ils aient aucune tendance particulière à se fracturer sur la jonction d'un cylindre plus grand avec un plus petit. Peut-être les gros canons ainsi construits, ont montré une tendance à manquer dans d'autres endroits, avant que le moment ne fût venu où cette source de défectuosité devait avoir son développement. Le renfort du canon Parrott de 100 est de 6.4. po. plus large en diamètre que le baril de fer coulé qu'il renferme, et c'est pour cela qu'il vibre beaucoup plus lentement sous un choc donné et il se réunit au baril sous un angle aigu. Il n'est survenu aucune fracture à cette jonction, ni autre part après 1,000 coups de la charge du service, et le capitaine Parrott assure que le petit nombre de ses canons qui ont éclaté n'ont pas manqué en cet endroit (voir la note dans l'Appendice).

411 POIDS. — La diminution que l'on obtient

dans le poids, en remplaçant le fer coulé par du fer forgé, est à peu près proportionnée en théorie à la force relative des deux matières. Le fer forgé a la plus grande pesanteur spécifique ; d'un autre côté, sa force de tension ne donne pas complètement la mesure de sa résistance à la pression interne. En pratique, les gros canons en fer forgé massif n'ont pas leurs proportions déterminées par cette règle, parce qu'il ne peut pas compter dans un canon sur la force d'une *barre;* — c'est-à-dire, que le procédé pour souder un métal fort est moins susceptible de confiance que celui pour souder un métal faible. Le canon Horsfall de 13 po. en fer forgé porte un boulet de 279 livres avec 74 livres de poudre. Le canon Rodman de 15 po. en fer coulé porte un boulet de 425 livres avec 63 livres de poudre. En sorte que les efforts ressentis par ces canons ne doivent pas être très-différents. Le premier, avec une force de tension de 50,000 livres, pèse 53,846 livres, tandis que le dernier, avec une force de tension de 30,000 livres seulement, ne pèse que 49,000 livres. Le canon Alfred de 10 po., en fer forgé pèse 24,094 livres, et n'a été tiré qu'avec 20 et 30 livres de

poudre, quoiqu'il soit hors de doute qu'il soit capable de résister à des charges de 50 livres du service. Le nouveau canon Dahlgren de 10 po., en fer coulé, pèse moins de 20,000 livres et a résisté pendant quelque temps à des charges de 47 livres du service. Le canon Rodman de 10 po., pour l'armée, pèse 15,059 livres et brûle 18 livres de poudre. Sous la forme de canon bâti, le fer forgé est plus digne de confiance, et peut être fait plus léger, quoique son poids ne soit pas diminué en proportion de sa force de tension dans les plus petits canons Armstrong.

On évite cette source d'embarras en employant l'acier coulé qui est non-seulement plus fort que le fer forgé, mais qui est encore homogène et sans soudures.

412. Prix de revient. — Le prix des gros canons de fer forgé est environ le double de celui des canons de fer coulé du même calibre, ou de la même puissance quand (ne pouvant se fier aux soudures) on emploie des poids égaux de matière dans les deux cas. (Voir tableau 27 du prix des canons.)

Quand on fabrique des canons, la première nécessité est de produire une grande masse de

matière. Tandis que le fer coulé et l'acier, mis en fusion, coulent dans des cuillers de toute grandeur par leur pesanteur spécifique, le fer forgé ne se fond pas à une chaleur pratique, en sorte qu'il faut recourir à un nouveau procédé. Si le canon est forgé massif, le procédé consiste à en ajouter un peu en temps opportun sous le marteau, et à en mettre une quantité par dessus pour le relief. Il a fallu sept semaines pour forger le canon Horsfall. Si le canon est bâti, il faut un outillage pour ajuster les petites pièces sur le corps principal, ce qui est encore plus coûteux, et, quand le tout est fait, le canon n'est pas homogène.

C'est une opération essentiellement distincte que de raffiner et de renforcer la matière. L'acier est tiré et condensé après que la masse a été formée; le fer forgé l'est avant. Les inventions de Bessemer et autres fabricants diminuent constamment le prix de l'acier, que l'on forme avec les gueuses de matière, en substituant aux anciens procédés les procédés chimiques qui exigent peu de main-d'œuvre et d'outillage *.

* L'acier inférieur formé en carbonisant le fer forgé, en enlevant le carbone du fer en gueuse par le procédé Besse-

415. Système de fabrication des canons en fer forgé. Pièces forgées massives. — On a déjà fait allusion aux inconvénients de ce procédé, le premier et le plus sérieux est qu'il est exposé à donner des soudures imparfaites entre le plus grand nombre des pièces. Si les morceaux s'agençaient l'un dans l'autre, chauffés uniformément et pressés suffisamment l'un contre l'autre, les soudures entre deux rangs de barres de fer deviendraient bonnes après une forte addition de compression postérieure. On a trouvé que de grosses pièces de fer *raffiné* ne se soudent pas solidement par le procédé de l'enroulement et de la forge. Les vieux rails de chemin de fer de la plus belle qualité, quand on les roule à nouveau pour former de nouveaux rails, sans les mélanger d'une grande quantité de fer en ligne, sont habituellement très-peu solides. Il paraît qu'il n'y a pas de fraisil ou assez de pression pour garantir une union intime *, le forgeron fait un fraisil

mer, *s'appelle* souvent fer forgé, parce qu'il n'est pas dur comme l'acier supérieur ; mais il ressemble beaucoup plus à l'acier fin qu'au fer forgé. L'acier inférieur obtenu par le puddlage pourrait s'appeler avec plus de raison du *fer forgé supérieur*.

* « Chemins de fer européens, » Colburn et Holley, 1858.

artificiel pour unir les fers raffinés, et la compression donnée par le coup de son marteau est plus grande en proportion de la masse, que celle des machines que l'on emploie pour les gros travaux. Il peut aussi donner une grande précision dans sa chauffe. Le fer coulé est celui qui renferme le maximum de fraisil; deux pièces de cette matière chauffées pour soudure, c'est-à-dire au point de fusion, s'unissent parfaitement. Deux boules puddlées accostées l'une à l'autre se soudent solidement quoique la masse serait faible dans toutes ses parties, s'il n'y avait pas un tirage postérieur.

M. Rœbling s'en réfère au même sujet, en établissant son ingénieuse théorie pour expliquer l'affaiblissement des structures de fer forgé sous la vibration — savoir : la manière dont les fils et les lames de fer se délient dans leurs enveloppes de fraisil.

414. L'importance de former la masse avant que le fer ne soit purifié et le fraisil expulsé est donc évidente. Les boules puddlées ne peuvent être bien manipulées si elles pèsent plus de 300 à

** « The Engineer, » Londres, 25 janvier 1861.

400 livres. Si l'on pouvait forger à la fois cent boules en une seule masse et qu'on la forge ensuite en canon, de telle sorte qu'on expulse le fraisil superflu qui peut encore rester, le produit serait plus homogène et l'on pourrait y avoir plus de confiance.

415. Les barres plates ou rondes qui composent une grosse pièce de forge pour canon ne sont pas ajustées à l'avance, les côtés plats de deux barres plates peuvent être soudés très solidement, mais leurs bords irréguliers et les bouts n'arrivent pas toujours à être pressés assez fortement ensemble pour faire un travail solide; en sorte qu'il y a des soudures d'écarts, des soudures de bouts, et pas de soudures ou plutôt pas de coutures entre les parties qui ne sont pas du tout en contact, et ne s'attachent ensemble que par le fraisil (426). La tendance du procédé tirant sous le marteau ou des rouleaux est de serrer le fraisil en dehors. Mais si les cans d'un fer plat arrivent à s'unir à la masse avant le centre, un excès de fraisil se trouve renfermé à l'intérieur et empêche le métal de s'unir ensuite. On laisse quelquefois de grandes cavités dans de pareilles pièces de forge. Si les pièces

forgées sont étirées davantage sous le marteau et les rouleaux, ces cavités ne sont pas seulement aplaties en coutures longues et larges, mais les coutures courent dans la direction du grain, affaiblissant ainsi le canon au point où l'effort interne est le plus fort.

416. La température de la soudure des divers fers n'est pas toujours la même. Une partie peut être brûlée avant que l'autre ne soit suffisamment amollie. Ou bien, les petites barres plates peuvent recevoir beaucoup plus de chaleur dans le tir que les grandes masses. M. Clay, des Œuvres fers et aciers de la Mersey, dit à ce sujet, en parlant des bribes de fer, que les fers de toute qualité ont leur point de soudure particulier; quand on les travaille ensemble, la partie qui est la moins raffinée est trop chauffée et se détériore en conséquence avant que la partie la plus raffinée ne soit arrivée à sa chaleur de soudure, et nous sommes ainsi placés dans le terrible dilemme ou de brûler la première ou d'être hors d'état de souder la seconde. »

417. Par le procédé des forges massives on garde pendant des semaines un massif de fer à

la chaleur rouge ou blanche. Le comité de l'Institut Francklin, dans son rapport sur le canon de fer forgé qui a éclaté à bord de la frégate *Princeton* des États-Unis (426), mentionne le fait comme une cause de faiblesse. M. Longridge, cependant, ne partage pas cette manière de voir, d'autant plus qu'il ne croit pas qu'une longue exposition à la chaleur puisse seule détériorer le fer, ni qu'aucun martelage puisse lui rendre sa fibre. « La conclusion de M. Kirkaldy à ce sujet est que le fer s'avarie quand on le porte à la chaleur blanche ou de soudure, s'il n'est pas martelé ou roulé en même temps. » La partie d'une grosse pièce de forge qui est terminée est maintenue à une grande chaleur sans qu'on la ramène sous le marteau.

Le défaut que nous considérons est admis par M. Clay qui dit :

« Le changement dans la structure d'une masse de fer, quand il survient pendant l'opération de la chauffe, est ordinairement produit parce que la chaleur du fourneau est poussée plus haut qu'il n'est nécessaire pour souder le fer ; en fait, l'intérieur d'abord, et si la chaleur n'est pas interrompue toute la masse est ré-

duite dans un état pâteux et en partie fluide. La structure du fer est ainsi entièrement changée et dans le procédé du refroidissement de la masse, la cristallisation s'opère de la même manière qu'avec d'autres substances qui se cristallisent en passant de l'état liquide à l'état solide. Sous l'empire de ces circonstances le fer peut s'altérer, — en d'autres termes, il peut être brûlé ; mais nous ne supposons pas qu'un pareil résultat soit ou inévitable ou commun en aucune manière; au contraire, la chaleur qui produit le mal s'obtient très-difficilement dans un fourneau ordinaire, sous les circonstances les plus favorables. »

418. Le grain de fer court dans une mauvaise direction dans les canons de fer forgé. Le plus grand effort agit dans la direction du rayon, la plus grande force se trouve dans la direction longitudinale. Si l'effort moyen de rupture de six pièces coupées dans le sens de la longueur sur le grand arbre d'une machine * a été trouvé de 47,582 livres par M. Kirkaldy; le grand arbre d'une autre machine a donné 43,579

* « Article devant l'Inst. des Ing. civils, » mars 1859.

livres. Le poids de rupture de six pièces coupées en travers du premier arbre était 44,578 livres, et 38,487 livres pour l'autre. La différence en faveur des morceaux coupés dans le sens de la longueur était respectivement 3,004 et 5,272 livres, ou 6,7 et 13,7 pour cent. On a observé des résultats analogues pour le fer coupé en long et en travers, sur des plaques de cuirasse.

Les expériences de M. Mallet « sur les coefficients d'élasticité et la rupture des pièces forgées massives » * montrent que « pour ce qui regarde la résistance relative à la tension dans différentes directions à l'intérieur d'une même grande masse de fer forgé de forme cylindrique, et dans les limites de l'élasticité, le bout de la résistance sur ou dans la ligne de l'axe est de 10 $^{1}/_{3}$ tonnes; sur la tangente à la circonférence de 6 tonnes et transversalement à l'axe ou sur un diamètre, de 3 $^{1}/_{4}$ tonnes par pouce carré, tandis que dans de grosses barres plates rectangulaires forgées de plus de 12 pouces de large, dans le plan de la barre plate, elle monte à 8 $^{3}/_{4}$ tonnes par pouce carré pour des sections égales. »

* « Expériences sur le fer forgé et l'acier, » 1862.

M. Mallet attribue la différence de force à la différence d'arrangement moléculaire. « Les cristaux entiers des masses cylindriques sont forcés, tordus et en partie séparés, par les effets du martelage dans diverses directions et par les forces particulières dues à la contraction pendant le refroidissement, qui concourent à l'effort. Aucune des forces n'agit avec la même intensité sur les masses rectangulaires, qui sont seulement martelées dans deux directions et les forces du refroidissement qui concourent à l'effort sont toutes parallèles aux forces du parallélipipède et aussi dans ces directions.

419. Un autre défaut du procédé usité pour forger les canons de fer forgé est dû aux coups légers des petits marteaux qui compriment seulement la coquille de la masse, et ne sont pas sentis sur le centre. Les arbres de bateaux à vapeur ainsi fabriqués sont défectueux; mais les résultats sont particulièrement mauvais dans le cas des canons.

1° Il n'y a que la peau du fer qni soit travaillée et condensée à fond. M. Kirkaldy * s'est assuré que la différence dans l'effort de rupture entre

* « Expériences sur le fer forgé et l'acier, » 1862.

les spécimens coupés dans l'extérieur d'un arbre de couche de la marine et les spécimens coupés dans son centre était, dans le premier cas, 3.221 livres ou 6,5 pour cent; et dans l'autre, 1.141 livres ou 2,6 pour cent.

2° La partie extérieure de la pièce forgée est quelquefois dilatée, et éloignée du centre par ce moyen, laissant l'intérieur affaibli et actuellement craqué, — ce qui est exactement l'état du canon coulé massif.

3° La partie interne du canon est laissée en tension, tandis que la partie externe est en compression, ce qui est l'effet opposé à celui dont on aurait besoin pour les efforts. Ce défaut cependant est le résultat d'un mécanisme mal approprié, et ne dérive pas nécessairement de l'usage du fer forgé; ou même des masses forgées massives de fer forgé.

M. Clay a attesté ce qui suit devant les commissaires de défense *, en réponse à la demande, « si la limite des manufactures du fer forgé n'avait pas été atteinte: » Certainement elle ne l'a pas été avec nos machines actuelles. Nous avons fait ce canon de 13 pouces avec des machines aussi inférieures à

* « Rapport des commissaires de la défense, » 1862.

celles que nous avons actuellement que le canon de 68 est inférieur en dimension au canon de 13 po. Nos machines sont maintenant cinq à six fois aussi puissantes. »

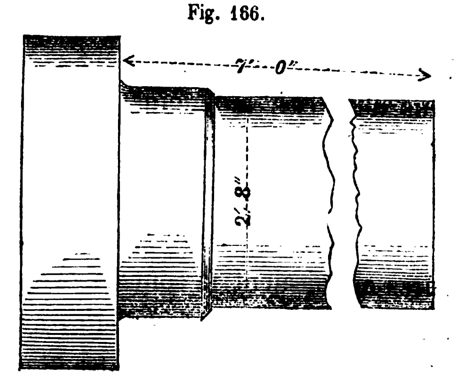
420. Les efforts initiaux des grandes pièces cylindriques en fer forgé sont dérangés dans une certaine mesure par une cause qui opère si défavorablement dans les canons massifs en fer coulé, — le refroidissements de l'extérieur en premier lieu, et ensuite la dilatation de l'intérieur (364). M. Clay a reconnu cette difficulté devant les commissaires de défense, et a constaté que son nouveau procédé, — les forges en creux, — en avait raison (429). Un pareil résultat s'est présenté dans le cas du canon Harsfall (113). Un tampon de culasse ou un faux fond était mis dans la chambre pour couvrir une fêlure provenant de cette cause.

M. Mallet dans l'article dont il vient d'être question *, donne les faits et les illustrations qui suivent relativement aux causes de défectuosité. Deux masses d'environ 2 1/2 pieds de diamètre sur 8 pieds de longueur ont été forgées pour deux mortiers de 36 po. que M. Mallet construisait pour

* « Les coefficients d'élasticité et rupture des pièces forgées massives. » Instr. aux Ing. civils, mars 1859.

le gouvernement anglais. Elles étaient légèrement coniques et il y avait à un bout un collier qui se projetait d'environ 6 po. tout autour, et avait environ 12 po. de largeur dans la ligne de l'axe, présentant sur le côté la forme générale que l'on voit dans la fig. 166.

Fig. 166.

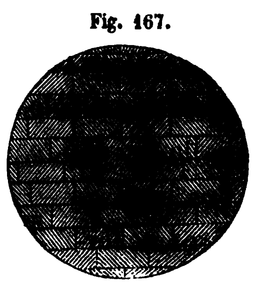


Pièce forgée pour la chambre du mortier de M. Mallet.

Les masses avaient été forgées avec des barres plates puddlées de dimension maniable, en accolant les unes aux autres deux grandes pièces plates, ou davantage (*fig.* 167), les faisant coucher l'une sur l'autre, et les soudant ensemble en une sorte de prisme carré grossier, qui était ensuite arrondi en partie aux angles sous le marteau. Ces pièces furent soudées ensemble, parfaitement bien en apparence; mais, après qu'elles étaient refroidies, on trouva invariablement qu'il s'était fait des cavités au centre, qu'il y avait de grandes déchirures à l'intérieur, avec des surfaces

dentelées cristallinés irrégulières *. D'abord il semble probable que les déchirures dues au refroidissement, que nous allons décrire, étaient formées dans la direction des grandes faces des barres plates ; mais un examen plus soigneux et plus exact prouve que dans plus d'un cas, au moins, les déchirures s'étaient faites indubitablement en travers, ou à angle droit avec ces surfaces planes *. Les faces opposées des déchirures en faisaient la contre-partie, et présentaient une évidence distincte qu'elles avaient été déchirées et séparées par la contraction du centre sur la circonférence à mesure que la masse se refroidissait. « Les fig. 168 et 169 montrent deux de ces déchirures. Les limites des fractures, quand on les voit perpendiculairement à leur plan, se trouvent généralement comme on le voit dans la fig. 170. L'étendue dont on pouvait s'assurer avait de deux à trois pieds dans la longueur de l'axe, et ordinairement plus de la moitié du diamètre ex-

Fig. 167.

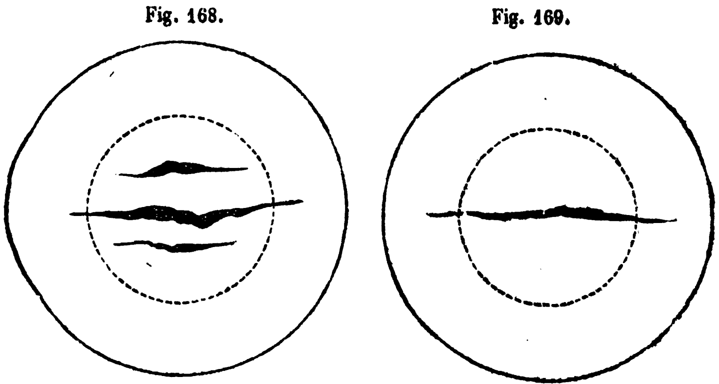


Pi'e ¡ our la chambre du mortier.

* Coefficients d'élasticité et rupture des pièces forgées massives. Instr. aux Ing. civils, mars 1859.

térieur de la masse en largeur, mesurée sur le bout le plus large. Les fêlures étaient ouvertes de

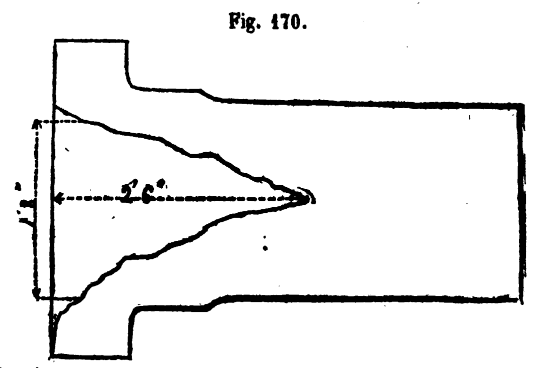
Fig. 168. Fig. 169.



Déchirures provenant du refroidissement dans les masses forgés.

$^1/_2$ à $^7/_8$ de po. dans la partie la plus large, au centre, et se terminaient à chaque extrémité par un

Fig. 170.



Section d'une déchirure provenant du refroidissement, dans une chambre à mortier.

coin extrêmement mince. Dans aucun cas, il n'y

avait de trace de mauvaise soudure, ou de défaut de main-d'œuvre. C'étaient des fentes nettes présentant sur leurs surfaces opposées un métal massif solide, quoique rugueux, par suite de la déchirure. M. Clay était d'accord pour tirer la même conclusion. D'après cela il a semblé que le phénomène était dû simplement à la contraction pendant le refroidissement. »

421. M. Mallet croit que ce défaut doit se présenter dans les cylindres massifs ou dans les frustra coniques, partout où les dimensions sont telles que la somme totale de la contraction du métal, sur un diamètre quelconque, depuis sa plus haute température jusqu'à celle de l'atmosphère, telles qu'elles sont fixées par la circonférence de rigidité due à la coquille froide extérieure, excède la limite de l'extension du fer à la rupture due à la longueur du diamètre du noyau intérieur qui se refroidit le dernier. Telle est la limite théorique de la grandeur d'une pièce de forge ; au delà il doit survenir des déchirures internes.

S'il était possible qu'une masse cylindrique de fer forgé pût être augmentée suffisamment en diamètre, de manière à le rendre évident, il ne peut y avoir aucun doute que le phénomène suivant ré-

sulterait des réactions réunies de son état, ou de mollesse à l'origine, et de sa température uniformément élevée, de son refroidissement externe, de sa contraction et de la rigidité qu'il prend à son refroidissement final, par la contraction et la rigidité des portions internes : la surface extérieure romprait en plusieurs endroits parallèlement à l'axe, et en se dirigeant vers le centre dans le premier cas. Ces fissures se serreraient toutes par la suite, et les surfaces opposées buttant l'une contre l'autre se presseraient de nouveau, comme les voussoirs d'une arche circulaire. La fissure diamétrale externe, ou les fissures seraient alors déchirées ; la forme extérieur de la masse quitterait la force d'un cercle pour prendre celle d'un ovale, le petit axe étant dans le plan de la déchirure interne, et toute la masse prendrait à la longue un équilibre stable en ce qui concerne les forces moléculaires. La transformation en une figure ovale serait probablement accompagnée de la réouverture de quelques-unes des fissures externes situées vers les bouts du grand axe de la section ovale.

Une grande cause de la mesure inférieure de force de la matière, dans les grosses pièces de forge, est évidemment le tirage à l'écart de toutes

les parties selon la tangente et selon le rayon. D'où, comme le dit l'autorité qui précède, « il se produit à une distance augmentée dans les deux directions entre les intégrations des forces cristallines, et une diminution dans la force de cohésion; l'épreuve de cela se trouve dans le fait que la pesanteur spécifique de la matière de ces grandes pièces de forge, est inférieure à celle du fer d'où elles ont été formées, et à celle des petites portions des mêmes masses en fagot. »

422. Pendant la discussion de l'article de M. Mallet, quelqu'un ayant essayé de repousser « les hypothèses » de l'auteur, en assurant qu'après tout les grosses pièces de forge étaient très-bien conditionnées et méritaient toute confiance, il produisit un état de l'agent de la compagnie de navigation péninsulaire et orientale : Pendant dix ans, tous les trois mois, il est arrivé en moyenne plus d'un accident sérieux par la rupture de grosses pièces de fer forgées, particulièrement des arbres de couche à roue et à hélice, de l'un ou l'autre des quarante et un navires de la Cie. On présume que ces accidents, dus au défaut de confection des grosses pièces de forge, donneraient une

moyenne de dépense de 10000 dollars par accident.

423. La force comparative des fortes pièces forgées est comme suit, d'après les expériences de M. Kirkaldy * Tableau 60.

TABLEAU LX. — **Force des grosses et des petites pièces forgées.**

	Liv. par po. carré.
Barres roulées anglaises, moyenne la plus haute......	64795
Fer de bribes, forgé, moyenne....................	53420
Arbre de couche, bribes, coupé en long, moyenne.....	47582
Dito , Dito , Dito , Dito	43759
Dito , Dito , coupé en trav., Dito	44578
Dito , Dito , Dito , Dito	38487
Plaque de cuirasse, bribe , moyenne................	38868
Dito , Dito , Dito	36824

D'après les expériences de M. Mallet * * la force de tension était comme suit : Tableau 61.

TABLEAU LXI. — **Force des grosses pièces forgées.**

	Tonnes.
Barre plate ou ronde martelée, 12 × 4 po..............	24.062
Barre plate en fagot, 48 × 48 × 12 po...............	18.594
Canon Horsfall de 13 po., barres du fagot originel.......	19.688
Dito Dito , barres coupées en long sur le canon........	18.839
Dito Dito , Dito sur la circonférence........	16.561
Dito Dito , Dito sur le diamètre.	16.562
Dito , barre laminée au charbon de bois, de l'âme du canon.........................	22.321

* « Expériences sur le fer forgé et l'acier, » 1862.

** « Coefficients d'élasticité et rupture dans les pièces forgées massives. »

424. D'un autre côté, le procédé des pièces forgées massives donne raison d'une grave objection que l'on fait contre le système des cercles, — la fracture et le relâchement des parties du canon, dus au défaut de masse et de continuité (299, 335).

425. On n'a fabriqué qu'un petit nombre de gros canons par le procédé des pièces forgées massives. Plusieurs ont éclaté pendant l'épreuve. Un canon forgé de 8 po. forgé au Gospel Iron Works, et éprouvé à Woolwich le 17 juillet 1855, a éclaté en plusieurs morceaux à la première décharge avec 28 livres de poudre et 2 boulets sphériques. Il est constant que ce canon avait à peu près les mêmes dimensions que les canons en fer coulé de même calibre.

Par conséquent l'épaisseur de la culasse était de 9 pouces environ. Le métal paraît bien conditionné à l'œil et parfait en dehors et en dedans.

426. Le cas le plus mémorable est celui du canon de 12 po. en fer forgé massif (fig. 171), appelé le *Pacificateur*, qui éclate à bord du steamer *Princeton* des États-Unis. Le canon avait été bâti par MM. Ward et Cie, sous la direction du commodore Stokton. Le canon de 12 po. (fig. 66) qui est maintenant à l'arsenal de la marine de Brooklyn

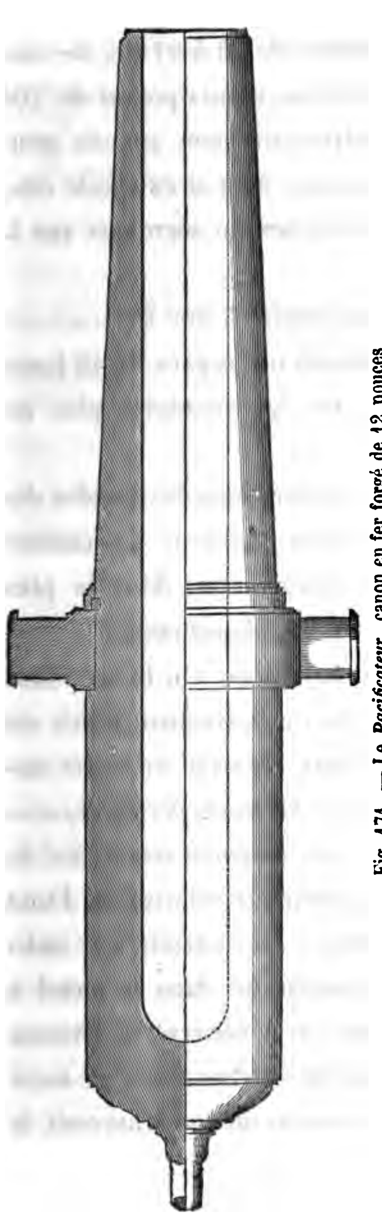


Fig. 171. — Le *Pacificateur*, canon en fer forgé de 12 pouces

en est une copie très-exacte, et il a été construit par la Cie des fers et aciers de la Mersey, pour le remplacer.

Un comité de l'Institut Francklin de Philadelphie a fait un examen détaillé du caractère du «Peacemaker;» nous extrayons de son rapport les faits suivants: La plus grande partie du fer du canon était composée de barres de fer de 4 pouces carrés d'environ 8 $^1/_2$ pieds de long. Trente d'entr'elles avaient été mises en fagot, sou-

dées et arrondies en arbres de 20 à 21 po. de diamètre. Le fer en forme de segments pesant de 200 à 800 liv., et ordinairement assez grands pour faire le $^1/_3$ du tour du canon, était alors soudé dessus ; il y avait deux couches de segments sur la culasse.

Le marteau employé pesait 15,000 liv.

On mit à forger le canon un espace de 45 jours $^1/_4$ pendant lesquels le fer fut maintenu plus ou moins chauffé.

Le canon se brisa en travers sous les bandes des tourillons, la volée restant entière. La culasse éclata en trois pièces principales, dont la plus grande avait 5 pieds de long, et embrassait la moitié de la circonférence du canon. On la voit dans la fig. 172. — Une partie de la fracture a mis en évidence de grands cristaux répartis en divers endroits. *On pouvait observer les traces des barres originelles :* il y avait aussi des endroits couverts d'écailles. On voit en *a* la grandeur relative de l'une d'elles (10 × 3 po.) « Outre les endroits qui indiquent un manque de continuité dans le métal à l'endroit de la fracture, on a observé à diverses places les arêtes de plusieurs autres : on vit aussi une grande solution de continuité qui traversait la

surface cylindrique, concentrique avec l'âme et qui s'étendait, dans un endroit au moins entière-

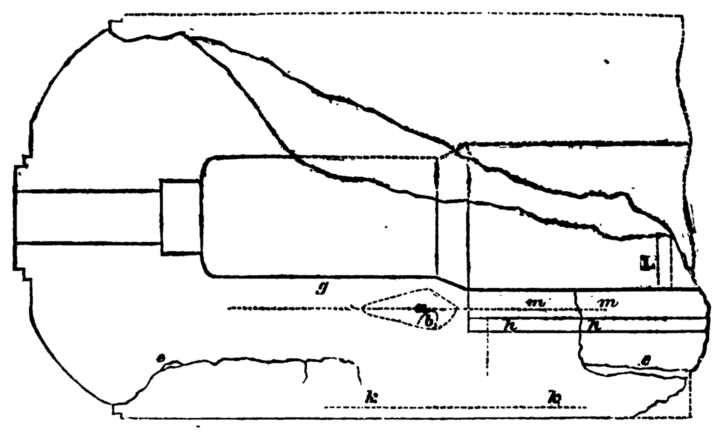


Fig. 172. — Fragment du *Pacificateur*.

ment autour du fragment. Cela provenait évidemment de ce que l'huile versée sur le côté supérieur était sortie en *a*, après avoir traversé un espace d'environ 3 pieds en dedans du fragment. On voit en *c* une autre ouverture dans le prolongement de la surface cylindrique. Les côtés de cette surface étaient séparés à une distance d'un quart de pouce, et en les inspectant, il était évident qu'ils n'avaient jamais été soudés. On fit pénétrer dans cette ouverture un fil de fer à une profondeur de 10 po. » On observa plusieurs autres fissures considérables.

(La suite au prochain numéro.)

DE LA PROFESSION DES ARMES

Par le Général **DON ANTONIO SANCHEZ OSORIO.**

(Suite. — Voir le numéro du 15 juin, page 436.)

Depuis que le divin Crucifié a versé sur la croix la première goutte de sang chrétien, ce sang très-précieux a été versé par torrents et a produit le fleuve sur lequel vogue le vaisseau de civilisation, faisant dans son humilité plus de conquêtes pour le bonheur du genre humain, que les victoires obtenues par les armes meurtrières.

Du pied de la croix, ce signe de rédemption, de fraternité, et de la plus haute civilisation, sont partis un petit nombre d'hommes obscurs, qui, des bâtons à la main pour appuyer leur corps, et gratifiés par Dieu lui-même du don de persuasion, ont détruit l'esclavage, donné l'égalité à tous leurs semblables, élevé la femme et semé le germe qui a déjà changé une partie de la face du monde, et qui doit finir par le réformer tout entier. Après les apôtres sont venus les saints-pères qui, par leurs vertus, leur exemple, leur fermeté et leur science, ont conquis des territoires étendus aux

croyances de l'église catholique : le docte *Tertullien, saint Grégoire de Naziance, saint Basile le Grand, saint Chrysostôme, saint Cyrille, saint Hilaire, saint Ambroise, saint Jérôme, saint Augustin* et cent autres ont été dans les premiers siècles des capitaines valeureux et très-habiles dans l'art de la prédication, et il est juste de mettre leurs noms au niveau et même avant ceux des guerriers auxquels les peuples doivent tant, mais sans oublier que les armes ont préparé les sociétés à la vraie foi, et qu'elles ont servi depuis à la propager.

On ne saurait nier que Dieu aurait pu faire marcher l'humanité vers la perfection qu'il a marquée, sans avoir besoin de la guerre; mais il faut se rappeler qu'il n'a donné que la force pour mobile à toute la création, et qu'il a voulu lui subordonner tout ce qui existe, en donnant la domination au pouvoir matériel dirigé par le pouvoir intellectuel et moral.

Comme la guerre, même quand on la fait avec humanité, est toujours cruelle dans la pratique, il en résulte, que les causes qui la provoquent reconnaissent des passions honteuses pour mobile la plupart du temps, surtout dans l'antiquité,

ainsi que nous l'avons déjà dit, et que pour augmenter le dommage, on a inventé et on imagine encore tous les jours des instruments de mort d'une activité de plus en plus grande, sans que le vulgaire et la plupart des innovateurs paraissent se douter que plus les armes seront meurtrières, et moins on obtiendra de résultats pour détruire en réalité, à cause de la crainte de l'effet produit et parce que les guerres sont plus difficiles. Il n'y en aura plus, ou du moins elles seront très-rares, quand on pourra se servir de machines telles qu'elles fassent disparaître des armées entières en peu d'instants et à de grandes distances.

L'histoire corrobore cette assertion et donne plus d'autorité au raisonnement. En effet, dans les premiers conflits, des groupes de combattants se jetaient aussitôt en désordre les uns contre les autres, pour se blesser à coups de grosses branches d'arbres, de pierres et d'os, se prenant corps à corps, surtout les chefs, et cherchant à se mettre en pièces à coups d'ongles et de dents ; le vaincu était exterminé, il y avait plus de tués que de survivants : le vaincu tombait dans l'esclavage et demeurait au pouvoir du vainqueur. Et cette fureur de ressentiment que l'on montrait sur le

champ de bataille avait pour origine première une religion idolâtre, dépourvue de toute efficacité pour unir les peuples. On combattait par haine personnelle contre une race, contre une caste, contre un pays ; c'étaient des inimitiés violentes, insatiables de fureur et de sang.

On imagina les armes blanches courtes, et si elles produisaient des résultats plus rapides et plus meurtriers, en échange, le guerrier jeté à terre d'un seul coup n'avait pas l'habitude de recommencer ; car il était considéré comme hors de combat.

On connut bientôt le moyen de lancer les pierres à de grandes distances et chaque projectile produisait un grand effet, au point que les combattants étaient obligés de se séparer, et la fuite d'un parti décidait souvent la victoire sans en venir aux mains. C'était déjà une ressource à la portée du plus faible pour éviter d'être exterminé.

On employa ensuite à la guerre, des machines d'une grande action et dont les projectiles avaient une pointe acérée, mais l'intervalle des lignes ennemies avait une grande étendue, qui était tout à fait au profit du moins brave ou du moins nombreux.

On inventa la poudre, et l'éloignement des combattants fut encore augmenté pour diminuer l'horrible destruction des armes à petite distance ; les chocs en masse étant rares et aussi moins sanglants.

Les armes à feu se sont perfectionnées en augmentant leur portée et la justesse du tir ; mais à leur tour les armées se respectent davantage et les nations font appel à tous les moyens de conciliation avant de recourir à la force comme argument dernier.

Les premiers peuples qui se mettaient à l'abri derrière des murailles ne se rendaient que par la famine ; mais en échange, tous les habitants avaient été exterminés quand on arrivait à cette extrémité, ou bien on les surprenait par la ruse et on les domptait.

L'artillerie facilita la démolition des murailles. On put forcer les villes fortes à se rendre, même quand elles avaient sacrifié beaucoup d'hommes, du temps et de l'argent. Mais comme les mœurs s'étaient déjà adoucies et que la civilisation était en progrès, le massacre général des assiégés n'était pas aussi fréquent quand on prenait leurs fortifications.

Vauban donna une grande impulsion à l'attaque par les nouvelles applications de l'artillerie qui abrégèrent considérablement la durée des siéges en détruisant leurs ressources matérielles : il fit ainsi un grand bien à l'humanité, parce que les défenseurs qui savent à l'avance qu'ils seront vaincus tôt ou tard ne poussent par la résistance au-delà des limites prescrites par les lois de la guerre qui n'ont plus leur férocité d'autrefois, puisque le vainqueur admet toujours une capitulation honorable, et qu'il sait rendre justice aux preuves de valeur qu'on a données dans la défense. De plus, ou bien les places fortes n'ont plus l'importance qu'elles avaient autrefois, ou bien les généraux n'y ont pas le même égard pour mener à bien leur plan de campagne. D'autres fois, elles offrent le plus grand intérêt, et la prise d'une seule forteresse abrége des combats acharnés et épargne beaucoup de sang.

On observe qu'à mesure que les engins de guerre se sont améliorés et qu'ils ont pu faire plus de mal, les combattants ont été obligés d'éloigner de plus en plus leurs lignes l'une de l'autre, de diminuer l'espace de chaque soldat dans les formations, d'étendre le front des ordres de combat

en diminuant leur profondeur; ces nécessités ont obligé celui qui commande à dominer sur des terrains plus étendus, à prêter son attention à un plus grand nombre d'objets ; les mouvements sur le champ de bataille et parconséquent ceux qui y conduisent, ont acquis une importance extrême, Ces nouvelles exigences demandent beaucoup d'intelligence et des connaissances approfondies dans la science militaire, pour en tirer avantage. Les chefs d'aujourd'hui ont besoin d'une capacité supérieure à ceux d'autrefois, dans les choses de leur spécialité.

Le fusil et l'artillerie ont rendu les guerres actuelles plus humanitaires ; car la haine et la fureur ne se développent pas parmi les hommes engagés au même degré que quand ils se mêlaient pour se frapper à l'arme blanche avant que le christianisme n'ait établi la fraternité des peuples : le faible a plus de moyens de défense, et avec du génie il peut obtenir la victoire sur un ennemi qui dispose d'armées beaucoup plus nombreuses. Les pertes se répartissent dans un rapport beaucoup plus équitable, et il est facile d'éluder un combat avec des marches et des manœuvres habiles. Il faut se figurer les royaumes d'aujour-

d'hui, comme de grandes agglomérations d'une même nombreuse famille, et si dans l'antiquité la gloire d'une victoire s'évaluait au chiffre des morts, on peut la conquérir aujourd'hui à l'occasion, sans que les forces belligérantes en viennent aux mains, et rien que par des plans et des mouvements stratégiques habilement combinés.

Ces avantages très-importants, ceux qu'on retire d'une discipline supérieure, résultat de l'ordre excellent auquel les troupes sont astreintes dans les carrés de combat, d'autres encore que nous n'énumérerons pas, sont des conséquences directes de l'invention de la poudre. Il y a encore des gens qui croient que c'a été une invention barbare. Quelques moments de réflexion dissiperont leur erreur. Combien cette composition inflammable n'a-t-elle pas adouci les usages de la guerre, et par suite les mœurs des peuples? Quelle importance n'a-t-elle pas donnée à la tactique, à la stratégie dont les principes sont si philanthropiques, et à toutes les branches de la science militaire? Quelle impulsion n'ont pas eue les principaux arts mécaniques et les sciences qui découlent de leur théorie? Comment peut-on nier qu'elle n'ait resserré les liens de fraternité

qui doivent unir les États? Et à l'ombre de ces forces permanentes armées de machines à feu, combien l'industrie n'a-t-elle pas prospéré ainsi que le commerce et le bien-être des peuples? Depuis quelle date respecte-t-on davantage l'indépendance des nations? quand les droits du citoyen ont-ils eu les plus fortes garanties? La poudre et la presse sont aujourd'hui deux moyens de civilisation d'une grande puissance, dont la vapeur et l'électricité sont les auxiliaires efficaces.

Non-seulement elles ont conduit la civilisation partout où il fallait que les bannières des armées cultivées, dirigées avec intelligence, promenassent leurs triomphes, mais leurs victoires ont été et sont un acheminement vers la fusion de l'humanité, non pour l'assujettir à un seul sceptre, mais pour l'unir tout entière par des rapports fraternels. Les armes modernes portent avec elles le respect de l'autorité, une volonté énergique, l'amour des classes laborieuses, la considération pour le savoir, l'épurement des mœurs, la sympathie des nationalités ou tout au moins une grande diminution des antiques antipathies; et il arrive que plus les adversaires sont forts et déterminés, plus grande est

l'estime réciproque des nations rivales quand elles ont terminé leurs querelles.

Michelet s'exprime de la manière suivante en affirmant que l'état de l'art militaire chez un peuple à une époque donnée fait connaître explicitement le degré de sa civilisation.

« La guerre a fait découvrir le monde des anciens temps. Alexandre a ouvert l'Inde et la Perse au commerce de la Grèce et fondé plus de villes qu'il n'en a détruit. Les Grecs et les Phéniciens ont découvert les côtes de la Méditerranée, et par leur renommée ils ont tracé la voie suivie par les Romains pour étendre la civilisation. Le commerce marche à la suite de l'homme de guerre, les communications deviennent plus fréquentes, elles cimentent la sympathie des peuples et la fraternité qui doit unir le genre humain. »

La guerre sera tous les jours plus redoutée et moins fréquente. Les projectiles dont la portée et la puissance meurtrière sont de plus en plus grandes, acquièrent plus de justesse ; les armes qui s'améliorent et auxquelles on pourra peut-être appliquer l'électricité qui les rendra plus rapides et permettra de produire à grande distance des effets surprenants ; la navigation sous-marine perfec-

tionnée, les ballons, quand on aura trouvé le secret de les diriger avec certitude ; les revêtements de fer des vaisseaux, les canons qui opèrent sous l'eau pour détruire les navires cuirassés, et d'autres inventions nombreuses susceptibles d'être appliquées sur une vaste échelle à l'art de la guerre, finiront par la rendre extrêmement rare. Mais il faut que l'on soit bien assuré que ces progrès n'aboliront jamais les armées ; bien au contraire, ils exigeront qu'elles soient plus nombreuses et parfaitement organisées, avec les moyens d'action les plus efficaces. Car s'il n'en était pas ainsi, la nation imprévoyante serait facilement le jouet d'une autre moins puissante, mais pourvue d'un meilleur armement militaire.

Il suffit de ce que nous avons dit dans le cours des articles déjà publiés et dans celui-ci pour démontrer que les guerres sont des véhicules de culture, et que l'armée, quand elle est bien constituée, est un moteur très-puissant de civilisation. La famille militaire est le noyau de l'État : pour qu'elle puisse exister et être appliquée convenablement, il faut tous les éléments de gouvernement, d'administration et de science qui sont indispensables à la vie des grands peuples. La milice repré-

sente une idée sublime de civilisation, d'ordre, de moralité, d'intelligence, de progrès et de prospérité ; elle est le baromètre qui indique avec la plus grande précision la puissance et la richesse de l'État. Elle a donné naissance, comme nous l'avons fait voir en temps et lieu, à la plupart des sciences, sinon à toutes, ainsi qu'à la littérature, qui n'est pas autre chose que le miroir fidèle où se réfléchissent le passé et le présent. Où existe une armée bien disciplinée, il y a toujours un pouvoir central et bienfaisant qui domine les deux éléments politiques opposés de l'aristocratie et de la démocratie, en maintenant en équilibre l'axe de la balance gouvernementale. La force publique d'un peuple est le signe de sa grandeur ou de sa décadence, elle fournit le moyen de juger avec certitude la plus ou moins grande sagesse de ses lois : *Machiavel* affirme que là où il n'y a pas une bonne milice, il ne saurait y avoir de bonnes lois, ni rien autre chose de bon, puisqu'il faut de toute nécessité que les institutions militaires soient d'accord avec les institutions civiles, pour mettre les arts de la paix en harmonie avec les arts de la guerre.

Notre historien *Lafuente* a dit : En général la période pendant laquelle un État acquiert le plus

de gloire et d'agrandissement correspond au moment de sa plus grande prospérité littéraire. Nous ajouterons que ce parallélisme a toujours lieu ; car, si l'on y fait bien attention, on s'apercevra promptement que les cas exceptionnels où cette maxime ne pourrait être appliquée se rapportent aux époques qui ont immédiatement suivi le déclin rapide des grandes gloires, et que les belles-lettres n'ont pu baisser aussi vite.

C'est ici le lieu de rappeler que les forces à pied sont celles dont l'importance, comparée à celles des troupes montées, exprime le mieux la culture des États. Ceux où la cavalerie est la plus nombreuse sont en décadence ou en retard, ce qui n'arrive aujourd'hui qu'aux contrées les moins civilisées. C'est pour cela que l'on vit les troupes à cheval avoir la prépondérance à Rome, au moment où l'empire commença à décliner, et les troupes asiatiques qui se composaient de cavaliers adroits et nombreux leur furent supérieures. La cavalerie prit un ascendant continu pendant tout le moyen âge qui fut la domination de la barbarie, jetant par terre ce qui restait des anciens temps. Mais à mesure que l'art de la guerre fit des progrès, et que les armées modernes firent pénétrer la civilisation

dans les contrées où elles combattaient, l'infanterie gagna en considération, tandis que le prestige de la cavalerie diminua chaque jour. Il y a une explication bien simple de ce fait tout particulier. C'est que la cavalerie est l'expression de la force brutale, tandis que l'infanterie représente l'art. Pour tirer un parti convenable de l'infanterie il faut de toute nécessité, par une prévoyance, par des calculs, par des connaissances et des exercices préalables, y avoir établi l'ordre, l'harmonie, la discipline ; tandis qu'avec la cavalerie, le courage de l'homme et la vitesse de l'animal suffisent, même quand il y a désordre et confusion, pour obtenir des succès dans des situations déterminées. On ne veut pas dire pour cela que les troupes à cheval soient devenues inutiles comme beaucoup de personnes le soutiennent : nous croyons tout à fait le contraire et nous ne doutons pas que par leur chiffre, leur organisation et leur instruction, elles ne remplissent à l'avenir dans les combats des fonctions plus importantes que celles qu'elles ont exercées jusqu'ici. Mais l'importance de l'infanterie a augmenté également, et leurs services combinés recevront encore du développement et acquerront plus d'influence.

Nous profiterons de cette occasion, bien qu'elle ne soit peut-être pas favorable, pour revenir sur l'une des idées que nous avons déjà publiées dans les *Considérations sur l'organisation de l'infanterie espagnole* (*Consideraciones organicas sobre la infanteria española*), et dont la réalisation nous paraît avoir beaucoup d'à-propos et d'intérêt : c'est l'emploi de tirailleurs spéciaux qui composeraient une petite section affectée à chaque bataillon. Un petit nombre d'hommes adroits, choisis pour leur vivacité naturelle, et la précision de leur tir, armés des carabines les plus perfectionnées, ayant une tactique particulière et des plus simples qui leur permettrait une grande liberté d'action, opérant sur les flancs ou sur les points les plus favorables des lignes de guérillas sans autre objet que de faire perdre à l'ennemi ses individualités les plus intéressantes, décideraient forcément du sort des combats, en très-peu de temps et en économisant beaucoup de sang. Il faudrait convaincre cette infanterie légère, et les généraux, les officiers supérieurs et autres devraient être bien convaincus que le but de leur institution *n'est pas de se battre, mais de chasser*.

Nous concluons en résumé que les peuples qui ne sont pas guerriers, n'ont jamais été et ne seront jamais puissants, ni très-cultivés ; que c'est en faisant la guerre que les grands capitaines sont devenus législateurs ; que l'esprit se développe d'une manière prodigieuse sur le champ de bataille ; que l'histoire n'a pas enregistré un seul souverain grand guerrier, qui n'ait patroné les lettres ; que la prospérité des nations est fomentée par les hommes célèbres dans les armes ; que le commandement suprême d'un pays exercé par ceux qui se sont distingués dans la milice, s'est toujours fait remarquer par son lustre relatif dans chaque époque ; que les hommes adonnés à la profession des armes ont de meilleures capacités pour le gouvernement que ceux qui suivent les autres carrières et même celle des lettres ; que ces dernières ont toujours décliné quand le militaire a cessé d'être un homme intelligent ; que plusieurs classes distinguées de l'armée sont instruites et font avancer les sciences ; que les généraux ont besoin d'avoir des connaissances très-étendues et des qualités toutes spéciales ; que l'obéissance passive est la base principale de l'utilité de l'armée ; que l'instruction

reçue dans ses rangs et qui doit augmenter tous les jours est ensuite répandue dans les masses du peuple, ce qui produit un bien immense ; et finalement que la force armée a donné en général l'impulsion à toutes les branches des sciences et augmenté le bien-être en soutenant en outre l'honneur et l'indépendance de la patrie. Jamais en Espagne elle n'a eu de tendance à amoindrir les droits de ses compatriotes, mais au contraire elle les a soutenus et défendus au prix de son sang, même en sacrifiant souvent ses propres droits.

On nous dira qu'il y a eu des profès de Mars qui ont été des hommes exécrables ; mais il y a des exceptions en toutes choses. Est-ce que l'état civil n'a pas produit aussi des hommes abominables ? *Jeffrys* en Angleterre, au temps de Charles II et de Jacques II, *Robespierre* en France, et nombre d'autres que nous pourrions citer ont été maudits de leurs contemporains, sont maudits par la génération actuelle et le seront encore par la postérité.

Il est clair que si un soldat ignorant et superbe dispose de la force publique, il ne s'occupera qu'à humilier ce qu'il y a de plus digne dans un pays et le conduira fatalement à sa perte et à une ruine

irréparable. Dans cette Albion si cultivée et si fière, qui a eu et possède encore tant de personnages distingués de l'ordre civil, on a confié en diverses occasion la direction du gouvernement, dans ce siècle même, à un capitaine illustre, à lord Wellington, et tant qu'il a existé, on l'a toujours consulté dans les grandes crises politiques.

Les hommes qui suivent la carrière des armes, paraissent en général désavantagés en un point, c'est qu'ils n'ont pas l'habitude de posséder le don de la parole pour entraîner les parlements, qui sont le piédestal de la majorité des hommes publics qui veulent monter au pouvoir. Cela provient de ce que la sévérité et la franchise de leurs principes militaires ne se prêtent pas à former des orateurs pour la tribune ; mais en échange, elles produisent des discours brefs et énergiques qui frappent le point culminant de chaque question, et mettent à nu la vérité, ce qui est parfois dangereux.

Mais pour qu'une institution puisse remplir parfaitement son objet, il est nécessaire qu'elle soit en harmonie avec les éléments de vitalité de l'État. L'armée a en elle-même ses devoirs tracés ainsi que ses récompenses, et cela ne suffit pas

parce que l'humanité a des défauts qu'elle n'a pas la force de détruire ; il faut la prendre telle qu'elle est en réalité, et ne pas fonder les raisonnements et les lois sur ce qui pourrait être et ce qui vaudrait mieux. Voudrait-on par aventure que le soldat, l'officier et le général fussent toujours disposés à sacrifier leur vie, et ce qui est plus encore, à laisser leur famille dans l'indigence pour soutenir les droits de tous leurs concitoyens sans en retirer une haute considération ? Est-ce que l'homme de guerre n'est pas un individu aussi intéressé que tout autre à la prospérité publique et à ce que tous les rouages qui composent la machine de l'État fonctionnent de la manière la plus parfaite ? Il faut donc lui procurer beaucoup de bien-être ; qu'on lui assure la fortune qu'il acquiert honorablement par ses services, sa souffrance et sa vie ; qu'on lui accorde un traitement distingué dans le commerce de la société ; qu'on lui octroie des droits dans les carrières civiles dont ses capacités militaires peuvent lui donner l'entrée, et où il voit avancer avec une rapidité démesurée des hommes qui la plupart du temps ont exploité dans leur intérêt personnel le courage et le désintéressement des troupes, et enfin, si la

milice est la profession qui forme les héros, et qui inspire les sacrifices les plus pénibles et parfois les plus cruels, il est de toute justice qu'elle jouisse de plus d'honneurs et d'un rang plus élevé. De cette façon, l'armée fera partie intégrante des institutions civiles et politiques du gouvernement, et elle les défendra avec la fermeté de celui qui craint de perdre toutes ses garanties, s'il est vaincu. Nous voudrions également qu'on exige avec une grande rigueur dans ceux qui constituent la force publique, beaucoup de science, une discipline sévère, la ferme volonté de laisser fonctionner dans leurs sphères particulières toutes les autres classes de la société, sans jamais devenir eux-mêmes un instrument aveugle et perfide pour l'ambition ou les passions des partis.

Pour conclure, nous désirons que tout le monde sache qu'il n'y a pas de profession plus noble et plus honorable que celle des armes ; qu'on rende plus de justice à l'esprit de l'institution et des diverses catégories de l'armée ; qu'elle n'ait pas à souffrir dans tout ce qui est indispensable pour son agrandissement, son organisation, son instruction, son chiffre et le bon avenir de ses

classes ; et que l'on ne croie pas que l'argent employé à construire des ouvrages de défense bien conçus, et de beaux quartiers pour les troupes, soit dépensé mal à propos ; car il reflue directement sur les classes les moins bien partagées, et devient la source d'un bien immense pour le pays. Ce n'est que par ce moyen que l'Espagne deviendra une puissance de premier ordre, et qu'elle imposera aux autres nations considération et respect.

Typographie de E. Dépée, à Sceaux.

TABLE DES MATIÈRES DU N° 8.

---

15 AOUT 1865.

Traité d'artillerie et cuirasses, par M. HOLLEY, Ingénieur américain.

PREMIÈRE PARTIE. — ARTILLERIE.

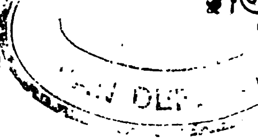
FIN DE LA TABLE.






IMPRIMERIE DE E. DÉPÉE, A SCEAUX.





JOURNAL

DES

ARMES SPÉCIALES

ET DE

L'ÉTAT-MAJOR

RECUEIL SCIENTIFIQUE

Du Génie, de l'Artillerie, de la Topographie Militaire, etc., etc.

PUBLIÉ SUR LES DOCUMENTS FOURNIS PAR LES OFFICIERS DES ARMÉES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Par J. CORRÉARD,

Ancien Ingénieur.

CINQUIÈME SÉRIE. — TOME XV. — 32e ANNÉE.

15 Septembre 1865.

N° 9.

PARIS

LIBRAIRIE MILITAIRE, MARITIME ET POLYTECHNIQUE

J. CORRÉARD, éditeur,

3, BOULEVARD SAINT-ANDRÉ, 3,

Maison de la fontaine Saint-Michel.

1865





JOURNAL DES ARMES SPECIALES.

ARTILLERIE ET CUIRASSES

PREMIÈRE PARTIE

ARTILLERIE

(Suite. — Voir le numéro du 15 août, page 100.)

Tableau LXII. — Force du fer dans le canon « Peacemaker ».

La force moyenne de tension par pouce carré de barres originelles était :

1re barre	46086 liv.
2e Id.	38595 »
3e Id.	52521 »

D'autres expériences faites avec le même fer ont donné les résultats suivants :

1. La force moyenne de tension avec laquelle les spécimens se sont brisés dans l'intérieur du canon, quand ils ont été forcés dans la direction de la fibre est inférieure à	32100 liv.
2. Les spécimens à partir de l'intérieur, dans une direction en travers de la fibre, ont donné	23700 »
3. Les spécimens à partir de l'intérieur du canon à travers la fibre, ont donné une moyenne inférieure à	45333 »
4. Les spécimens brunis à partir de l'extérieur, forcés dans la longueur de la fibre, ont donné une moyenne de	36067 »
5. La moyenne de tous les spécimens du canon, non martelés, est	33300 »
6. La moyenne de tous les spécimens travaillés sous le marteau, est	63475 »

Les conclusions générales de ces résultats sont les mêmes que celles des expériences faites à Boston par le Comité, autant qu'on peut comparer les deux séries :

1. La force moyenne du fer, comme elle existait dans le canon d'après les deux séries, est	33586 liv.
2. La force moyenne du fer du canon, après avoir été battu sous le martinet, d'après les deux séries, est	59824 »
3. La force moyenne des barres originelles, d'après les expériences de la première série, est	46950 »

Par conséquent, supposons que la force originelle du fer soit 100, la force moyenne existant dans le canon était 72, ce qui donnait une perte de 28 pour cent; et, si l'on prend la force de tension de l'intérieur, quand il est forcé dans une direction transversale aux fibres, la proportion de la barre originelle est de 50 à 100; on a perdu 50 pour cent.

Pour conclusion, le comité émet l'opinion « que dans l'état actuel des arts (en 1844,) l'usage des canons de fer forgé de gros calibre, fabriqués d'après le système du canon que l'on examine, devait être abandonné, pour les raisons suivantes :

« 1° La difficulté pratique, pour ne pas dire l'impossibilité, de souder une si forte masse de fer de manière à assurer une confection parfaite et uniforme dans toutes les parties; 2° l'incertitude qui existera toujours à cause des imperfections de la soudure; et 3° Du fait que le fer perd toujours en force, quand il est exposé à la longue chauffe nécessaire pour faire un canon de cette dimension, sans qu'il soit possible de rétablir ses fibres par le martelage actuellement usité dans notre pays. »

On a fait des expériences pour déterminer la force de tension 1° de la barre originelle; 2° d'une barre coupée dans l'intérieur du canon; 3° d'une barre faite avec une portion de canon remise sous le martinet.

La force moyenne de deux grosses pièces de forge, — des arbres de couche d'un navire à vapeur, — a été trouvée de 45,670 livres dans la direction du grain par M. Kirkaldi. Parmi « les observations définitives » voici les suivantes qui se rapportent à la question : « les qualités inférieures montrent une plus grande variation dans l'effort de rupture que les qualités supérieures.

Il existe une plus grande différence de tensité entre les petites et les grosses barres que dans les belles variétés. »

D'où l'on peut conclure que non-seulement les grosses pièces de forge sont plus faibles que les plus petites barres, mais qu'elles sont moins uniformes et méritent moins de confiance.

427. En parlant des canons de fer forgé M. Mallet dit * : Les faits (ceux qu'il a posés

* « Sur la construction de l'artillerie, » 1856.

précédemment) sont dignes d'être notés comme indiquant l'incertitude absolue qui doit toujours exister relativement à la confiance que méritent les canons de fer forgé ; travaillés sur une seule grande masse, quoiqu'on les fabrique sans regarder à la dépense, et par des gens qui désirent avant tout produre un résultat des plus excellents. On aurait pu, avec plus d'expérience et de jugement, éviter quelques-uns des inconvénients de ce canon : mais le mal principal est inhérent et inséparable de toutes les grosses pièces forgées, et d'autant plus que leurs soudures sont plus nombreuses *. »

* M. Anderson dit à ce sujet : « Il y a peu d'années on croyait obtenir le canon le plus convenable en le forgeant. En 1854, quand M. Nasmyth s'en occupait, le pays s'attendait à de grands résultats. On pourrait dire que l'issue fâcheuse de son canon a été un désappointement national. Depuis lors, il y a eu les canons de Liverpool, — un mortier monstre dont il était aussi question. L'âme de ce canon n'aurait jamais supporté l'épreuve des artilleurs. Il y avait des défauts dans son intérieur, et ce serait toujours le cas des grosses constructions en fer forgé. A présent, il y avait à Woolwich quelques belles pièces forgées en apparence, qui étaient défectueuses à cause des fissures du noyau et particulièrement dans la chambre, à la culasse. Par conséquent, il ne croyait pas que le bon canon que l'on avait en vue pût

D'un autre côté, M. Clay, des Ouvrages en fer de la Mersey, diffère d'opinion avec M. Mallet, et observe avec raison que « plusieurs des défauts de fabrication des canons de fer forgé devraient être un sujet d'étonnement ; car il n'est guère raisonnable d'espérer un succès immédiat dans n'importe quelle fabrication nouvelle. »

428. M. Clay rend compte * des expériences faites pour déterminer la force du fer avec lequel le canon monstre (110) était fait, et de quelques fers pour canons après qu'ils ont été fabriqués. Les résultats sont donnés dans le tableau 63 :

Prenant la moyenne des deux premières expériences et la comparant avec celle des trois suivantes, il y a une diminution de force d'environ 13 pour cent ; tandis que, d'un autre côté, en la comparant avec les 6e, 7e et 8e, il y a un gain de 2 pour cent.

M. Longridge est d'avis ** que ces expériences

être obtenu par le système du fer forgé. » « *Construction de l'artillerie.* » *Instr. aux Ing. civils*, 1860.

* « Cercle des arts industriels de Orr. »

** « Construction de l'artillerie. » Instr. aux Ing. civils, 1860.

ne sont pas très-concluantes, parce que « le fer avait été coupé sur la bouche du canon, et non pas dans l'intérieur de la culasse, où l'épaisseur est plus grande et où la détérioration est nécessairement supérieure. » Il résume la question en disant que » la manufacture des

TABLEAU LXIII. — Force du fer dans le canon Horsfall.

Nos des expériences.	DESCRIPTION DU FER.	Effort de rupture en livre par po. carré.	Moyenne.	Allong. sur les barres. Echantill. de 4 po. de long.
1	Fer original dont le canon a été fait.....	48384	49504	1/2
2	Dito Dito.........	50624		1/2
3	Coupé en trav. du grain de la bouc. du can.	41644	43390	3/8
4	Dito Dito.........	43904		3/8
5	Dito Dito.........	50624		1/2
6	Coupé dans le sens du grain de la bouc. du c.	48384	50624	3/8
7	Dito Dito.........	50624		3/8
8	Dito Dito.........	52864		1/2
9	Ames de can. reforg. avec du charb. de terre	60584	61704	1/2
10	Dito Dito.........	62824		1/2
11	Ames de can. reforg. avec du charb. de bois	76584	76584	9/16
12	Fer suédois, importé, 3/4 po. carré.......	60584	60584	1/2

gros canons forgés est une opération d'une grande difficulté, très-dispendieuse et très-incertaine; et que cependant la difficulté et la dépense peuvent être diminuées, mais que l'incertitude restera toujours. De plus, en prenant la chose au mieux, ce n'est que le remplacement du fer coulé par une matière ayant une force de tension plus élevée; le défaut radical, d'une masse homogène restant toujours, c'est-à-dire, la distribution inégale de l'effort de la circonférence interne à la circonférence externe. »

429. Pièces forgées creuses et coulées. — Le canon Alfred (115) a été forgé creux, — procédé qui, selon M. Clay qui l'a fabriqué ainsi que le canon Horsfall, fait disparaître plusieurs défauts du système qu'on vient de discuter; il dit : « Nous forgeons nos canons creux, ce qui fait disparaître une difficulté que nous avions éprouvée, savoir la tendance à la contraction dans l'âme du canon, où le métal exposé à l'influence du refroidissement de l'air sur trois côtés au lieu de l'être seulement sur deux côtés, et où la croûte extérieure, atteinte la première par le froid, donne lieu à une contraction. En les forgeant en creux et laissant

la culasse se visser à l'intérieur comme le canon Armstrong de 10 $^{1}/_{2}$, et notre canon Prince Alfred de l'Exposition, nous esquivons la difficulté. »

Ce procédé donne aussi au superflu du fraisil la chance de s'échapper, et peut être conduit de manière à rendre la chauffe plus uniforme à travers la masse. Néanmoins, les défauts principaux du procédé des pièces forgées massives subissent toujours, — la multiplication des soudures entre les parties mal ajustées, et leur chance d'être mal conditionnées pour diverses causes; la surchauffe; la mauvaise direction des coutures et de la fibre; et la réduction, petite comparativement, ainsi que l'épurement de la masse après qu'elle a été agrégée.

Une quantité de canons de campagne maintenant en service ont été roulés en creux aux œuvres en fer du Phénix en Pennsylvanie, d'après le plan de M. Griffin. Des tiges carrées de fer roulées de $^{7}/_{8}$ po. $\times$ $^{7}/_{8}$ po. $\times$ 4 $^{1}/_{2}$ pieds de long, étaient placées en forme de baril sur un arbre mis sur un tour. Une longue barre de $^{3}/_{4}$ $\times$ 4 $^{1}/_{2}$ po. des sections rhomboïdale, fut enroulée en spirale sur le baril par la révolution du tour; une autre spirale fut enroulée sur la première, la spirale

courant dans une direction opposée, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on eût appliqué cinq couches. Une couche mince de barres carrées fut alors appliquée sur l'extérieur et un tampon chassé dans la culasse pour la fermer et former le bouton de culasse. Le tout fut alors chauffé pour être soudé et enfoncé de deux pouces par les bouts dans une presse hydraulique, après quoi on l'allongea entre les rouleaux de 4 $^1/_2$ à 7 pieds. Alors, on souda les tourillons, sans retirer le canon du fourneau à réverbère ; l'âme fut évidée et la volée réduite à la dimension convenable en la tournant, la masse étant cylindrique en sortant des rouleaux. Le capitaine Benton * dit du bien de ces sortes de canons, et ils paraissent avoir réussi sur une petite échelle.

430. Mais la compagnie des fers du Phénix paraît avoir maintenant abandonné ce procédé et l'avoir remplacé par un autre qui produit un canon meilleur marché et mieux conditionné et promet bien pour une artillerie plus grande *.

* « Ordnance and Gunnery, » 1862.

** Ce qui suit est extrait des détails du brevet anglais de M. D.-T. Yeakel, de Lafayette, Indiana, daté du 16 avril, 1862 :

« Une des manières de perfectionner la construction des

Une feuille de fer est roulée en cylindre autour d'un mandrin, et tirée en tube à parois solides.

canons et autres armes qui forme le sujet de la présente invention, consiste à rouler et envelopper une plaque ou une feuille de fer ou d'acier, ou plusieurs (s'il en faut plus d'une), autour d'un mandrin central en fer forgé ou en acier; toute la masse doit être soudée ensemble comme elle est roulée, ou après qu'elle a été roulée, la soudure devant être faite par la pression des rouleaux ou l'application d'un ou de plusieurs martinets à la chaleur de soudure. Le mandrin devrait être d'un plus petit diamètre que l'âme que l'on désire pour le baril du canon ou l'arbre du cylindre, si ce dernier doit être creux, en sorte qu'en faisant l'âme, on enlève tout le mandrin.

« Une autre manière de produire l'invention consiste à employer un mandrin froid de métal forgé ou coulé, et à rouler les feuilles ou les plaques de fer ou d'acier autour de lui, jusqu'à ce que la dimension désirée soit produite. Les feuilles ou les plaques doivent être roulées autour du mandrin à la chaleur de soudure et soudées ensemble comme elles sont roulées; alors on retire le mandrin, on fait l'âme, on la rabote, et on la tourne de la manière suivie actuellement pour les canons coulés ou les pièces en creux.

« Une autre manière consiste à rouler les feuilles ou les plaques dans la même forme, mais sans le mandrin; on insère alors le mandrin et on soude toute la masse ensemble. Le mandrin devrait toujours être plus petit que l'âme, ou le creux qu'on veut produire, s'il faut fixer le mandrin ou le retirer d'une autre façon. Les plaques ou feuilles employées devraient être d'une longueur suffisante, quand on les emploie en une seule pièce, pour produire, quand elles sont

L'âme peut être faite entièrement à l'intérieur du mandrin qui peut être d'acier. Les coutures dans ce cas n'affaibliraient pas le canon, — en effet, le simple contact du fer empêcherait les tours de se défaire pendant le tir; et le fer peut être raffiné avant d'être converti en canon. Mais avec tous ces avantages, le canon de 7 po. fait sur ce plan pour M. Lynall-Thomas, à Newcastle, a éclaté au second coup (127), quoique les canons

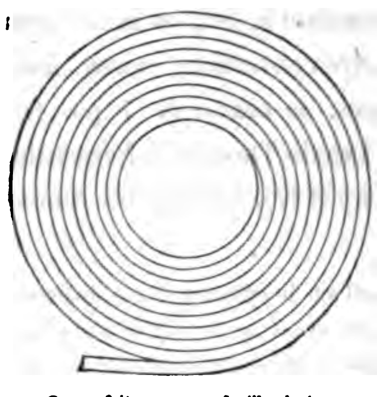
roulées et soudées, le baril ou le cylindre d'une épaisseur ou du diamètre qu'on désire, avant de tourner et d'une longueur plus forte de plusieurs pouces que celle que l'on désire avoir pour la largeur du baril ou cylindre. On peut se servir d'une feuille ou d'une plaque de fer d'une épaisseur uniforme, ou, on peut en avoir une s'amincissant d'un côté à l'autre sur la largeur, de manière à produire, quand elle est roulée ou soudée, la forme approchée du baril avant de le tourner; si on emploie une épaisseur uniforme, il faut continuer l'enroulement jusqu'à ce qu'on ait obtenu un diamètre suffisant à la culasse.

« Par le procédé perfectionné de faire les canons ou les arbres, les plaques en fer ou en acier consolidées avec le plus de soin sont soudées ensemble sur une largeur continue, produisant ainsi une qualité, savoir : la consolidation uniforme du métal, et une forme de baril composé de feuillures concentriques soudées, capables d'offrir une résistance à la force explosive de la poudre à canon, ce qu'on ne peut obtenir d'aucune autre manière. »

de campagne de la compagnie des fers du Phénix résistent très-bien.

431. Le canon en fer forgé de M. Ames, dont on a mentionné la fabrication et l'épreuve (128), est forgé creux en soudant une série d'anneaux court épais au bout d'une barre, et construisant ainsi le canon de la culasse à la bouche. Les anneaux sont cerclés séparément avant d'être soudés ; toute la tension initiale qu'ils peuvent avoir est détruite dans la chauffe et le martelage, et on laisse le canon dépourvu de l'effort initial qu'il lui faudrait. En même temps on le laisse sans effort initial de rupture —la substance du métal est en état de repos. Comme les anneaux sont forgés massifs il n'y a pas de grain bien défini développé dans la direction de sa circonférence, comme dans les canons Armstrong ou de la compagnie des fers du Phénix. Mais il n'y a pas de *soudures*


Fig. 173. — Fig. 69.



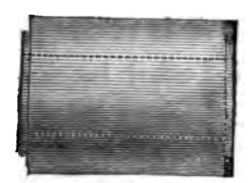
Canon fait avec une feuille de fer.
Ou canon de 7 po. de Lynal-Thomas. — Mode de fabrication.

longitudinales. L'effort principal de la poudre a son point principal de résistance dans la force de l'anneau massif qui n'est pas brisé. La surchauffe et les mauvais effets de l'ajustage imparfait des pièces, la soudure dans le fraisil, et le martelage trop léger, sont plus susceptibles d'être évités, et les avantages du refroidissement de la masse par l'intérieur sont garanties dans une certaine mesure. Le procédé paraît être à beaucoup d'égards un perfectionnement sur le plan de construire sur le bout d'une barre avec des pièces rugueuses et des soudures multiples.

432. Le canon Armstrong. — On a décrit au chapitre I le procédé de fabrication de ce canon et ses charges.

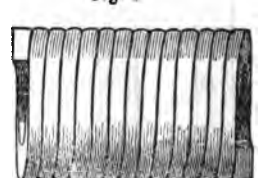
Le canon se compose de plusieurs cercles

Fig. 174.



Cercle à tenon et à retrait pour s'ajuster à d'autres.

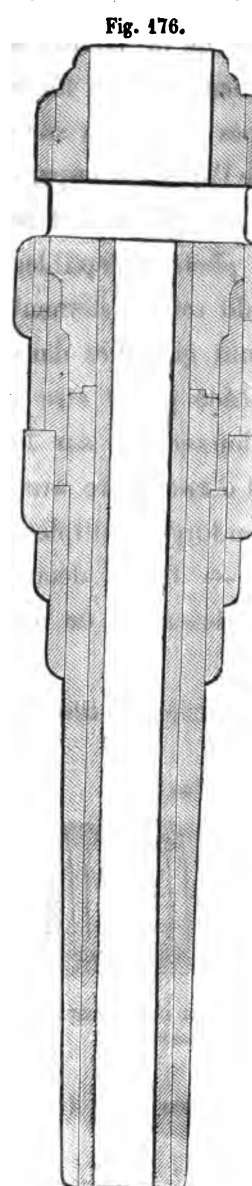
Fig. 175.



Barre de fer cueillie pour faire un cercle.

(*fig.* 174) soudés faits avec des glènes (*fig.* 175),

Fig. 176.



Canon rmstrong de 110 6/16 po par pied.

et contractés l'un sur l'autre (*fig.* 176). La pièce de culasse est forgée de manière que la fibre coure dans le sens de la longueur.

433. TRAITS CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME. — Ils consistent : Premièrement, à placer la fibre du fer dans la direction du plus grand effort, et à opposer la tension des soudures à l'effort le plus faible ; c'est-à-dire, que 1° la fibre et les soudures dans le corps du canon courent dans la direction de sa circonférence ; 2° la fibre d'une portion suffisante de la culasse pour résister à l'effort longitudinal court parallèlement à l'âme.

Deuxièmement, à placer les cercles externes en tension initiale, en sorte que toutes les parties puissent

être également forcées à l'instant du tir (287). Sir William Armstrong à déclaré * publiquement qu'il ne produisait pas ce plan avec la précision présentée par M. Longridge (293), mais que les anneaux étaient simplement appliqués avec une différence suffisante de diamètre pour assurer un serrage efficace. En effet sir William ** considère que le principe important de son canon est non pas de construire simplement un baril, ni de le placer sous des efforts initiaux réguliers, mais de souder des tubes cueillis bout à bout, et de les contracter ensemble.

Troisièmement. La charge par la culasse, etc.

Quatrièmement. Le système des rayures et projectiles sont les autres traits caractéristiques de l'artillerie Armstrong, et seront examinés à leurs titres respectifs. Tous deux tendent directement ou indirectement à affaiblir le canon, et sont modifiés ou abandonnés dans les plus gros canons.

434. Avantages du système.—Le premier grand avantage des tubes de fer forgé ayant leur fibre

* Construction de l'artillerie. Instr. aux ing. civils, 1860.
** Select committee ordnance, 1863.

dans la direction du plus grand effort et les soudures dans la direction du plus petit, et ayant un effort initial tel que tout le fer fera un travail égal à l'instant du tir, est évidemment *une grande force pour résister à la pression interne.* La pratique confirme aussi cette conclusion.

Outre la mauvaise direction des soudures et des fibres, et les pailles possibles, et l'absence d'une tension initiale convenable, les autres défauts du canon forgé massif, parmi lesquels un serrage inégal (420) et les divers mauvais effets d'un martelage léger (419) sont modifiés ou évités dans le canon Armstrong.

Quoique le fer du canon Armstrong soit raffiné avant d'être soudé (414), et quoique la pression en soudant la glène en tube ne soit pas aussi uniforme qu'elle devrait l'être, la chauffe est si uniforme et les surfaces à joindre si unies, qu'on peut certainement plus compter sur l'union des parties du canon que dans le cas du canon forgé massif. Le fer *est* raffiné ; dans l'autre cas il peut être cru, après qu'on a fini de forger.

On peut éviter de brûler le fer ; mais il y a assez de surchauffe pour affaiblir la matière. M. Ander-

son dit * : « Quand des barres roulées de la meilleure qualité sont cueillies en glène, et qu'on les soude alors en cylindre pour fabriquer le canon, on trouve que le fer, en règle générale, subit un effort moyen de 3481 livres par pouce carré. »

Les lignes suivantes font voir les résultats moyens, tant sous le rapport de la soudure que sous celui de la rupture :

Point de soudure	Fer en barres.................	31100
	Fer en cylindres...............	27852
Point de rupture	Fer en barres..................	58986
	Fer en cylindres...............	55500

La perte est due à ce que la chauffe nécessaire augmente dans un rapport supérieur au travail de forge.

435. Un autre avantage de ce système de fabrication est ainsi constaté par M. Anderson : « En construisant les canons avec des cylindres, cette haute tenacité apportée sur la circonférence par le système des glènes, et la facilité qu'il donne pour *connaître la bonne condition du canon dans toutes ses parties*, et d'après le fait que chaque partie est mise en mesure d'exercer complètement

* « Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, » août 1862.

ses fonctions dès le commencement, — cet arrangement dans la construction des canons leur donnera toujours un avantage immense sur les canons faits d'une seule pièce forgée massive, au point de vue de la force et de la garantie que toute la structure n'éclatera pas ; et même quand on considère le cylindre en glène comme un moyen d'obtenir la doublure interne ou l'âme d'un canon rayé, circonstance pour laquelle il est loin d'être aussi parfait : cependant il est supérieur, même dans ce cas, à l'âme pratiquée dans une immense pièce de forge, de dimensions appropriées aux gros canons, attendu qu'une masse forgée aussi considérable est toujours plus ou moins défectueuse, même avec la main-d'œuvre la meilleure et la plus soignée. »

456. On a éprouvé de la manière suivante la force comparative du système des glènes et du système forgé massif. Un canon de 6 $^1/_2$ po. en fer forgé, pesant 9282 livres, fait d'un bloc forgé aux œuvres en fer de la Mersey, a été éprouvé de la manière suivante en 1862 : charge, 16 livres ; 10 coups avec boulet de 68 liv. 10 onces ; 10 avec un boulet de 136 liv. 8 onces ; 10 avec un boulet de 204 livres ; 10 avec un boulet de 278 livres ;

10 avec un boulet de 340 liv. 8 onces; 10 avec un boulet de 410 livres; et 10 avec un boulet de 476 livres. Au soixante-dixième, le canon éclata en huit morceaux. Des expériences subséquentes sur le métal ont démontré qu'il possédait une force de 45,359 livres.

Un canon Armstrong de 6 $^1/_2$ po. en fer forgé a été éprouvé pour établir une comparaison avec le canon précédent. Le baril interne était fait d'une pièce forgée massive; poids du canon, 9474 livres. Il tira 100 coups avec la charge de 16 livres. Les projectiles étaient des cylindres, qui ont commencé par le poids de 68 liv. 10 onces pour finir par celui de 672 livres, en augmentant tous les dix coups. Au soixantième coup, on trouva dans la chambre une cavité qui augmenta graduellement jusqu'à 2.75 po. de profondeur, avec de petites fissures.

Cependant, on essaya ensuite un canon de 40 et un autre de 12 en fer forgé massif de la Mersey (122), et le comité rapporta * que « ces canons ont manifesté une durée, sinon tout à fait égale aux canons faits sur le système à glènes, cependant

* « Rapport du Comité choisi pour l'artillerie, » 1863.

suffisante pour les besoins du service, si elle est accompagnée de la puissance de résister à un très-grand nombre de charges du service. »

437. Le rapport suivant « sur la durée sous épreuve, du canon Armstrong de 100 se chargeant par la culasse » est officiel *.

Les lords commissaires de l'amirauté désirent que les détails suivants, relatifs aux épreuves sur la durée du canon Armstrong de 100 se chargeant par la culasse, soient communiqués pour l'instruction des officiers et équipages des vaisseaux de Sa Majesté :

« L'épreuve de ce canon, qui a été conduite de la manière usitée, a été commencée le 20 juin dernier et terminée le 10 septembre, après avoir été portée jusqu'à 100 coups. La charge de poudre employée était la charge du service du canon pour un boulet de 100 livres, comme elle avait été proposée à l'origine par sir William Armstrong, savoir 14 livres; on ne devra pas la dépasser pour le boulet de 110 livres. On a employé des cylindres de 100 livres pour les dix premiers coups; des cylindres de 200 livres pour les dix coups suivants,

* D'après une circulaire de l'amirauté.

et ainsi de suite en augmentant jusqu'aux dix derniers qui ne pesaient pas moins de 1000 livres. Ces derniers cylindres avaient 8 pieds 8 pouces de long et se projetaient de deux pieds au delà de la bouche. On trouva que le canon n'avait pas été avarié. La chambre à poudre et la chambre à boulet furent trouvées légèrement couturées dans la direction de la fibre du canon. La vis de culasse a fonctionné librement pendant le cours de l'expérience. Deux pièces de lumière en acier ont été brisées pendant l'expérience, savoir au vingt-huitième et au trente et unième coup dans chacune ; une pièce de lumière en fer forgé, après avoir été employée depuis le trente-deuxième jusqu'au quatre-vingt-unième coup, a été trouvée tellement usée sur la face qu'elle avariait les gobelets, et on a employé une seconde pièce de lumière en fer forgé depuis le quatre-vingt-deuxième jusqu'au centième coup. On a observé qu'au quatre-vingt-onzième coup cette pièce de lumière exhibait un grand nombre de petites fêlures qui se sont étendues considérablement dans le cours des neuf coups restants ; elle s'est brisée au quatrième coup de l'expérience suivante avec une charge d'épreuve de 27 $^1/_2$ livres et un simple boulet d'épreuve de

110 livres. Il a fallu remettre une face au cuivre de la culasse au trentième coup ; après chaque trente-cinquième coup, on l'enlevait et on la remplaçait. Après le quatre-vingt-cinquième coup, on a remis une face au nouveau cuivre, et on l'a remplacé après le soixante-troisième coup ; le cuivre que l'on a mis alors en place n'a plus reçu de réparation pendant le reste des expériences. On a employé les valets lubréfiants patentés pour le service pour les dix premiers coups, et ensuite les valets brevetés du capitaine Lyon. La chambre à poudre était lavée à chaque coup pour permettre de mesurer l'expansion du cuivre de la culasse. On s'est servi pour les 35 premiers coups de gobelets en fortes plaques d'étain, mais ils étaient trop faibles pour résister à la pression exercée par le gaz, avec les cylindres du poids alors en usage, et ils furent remplacés par des gobelets de cuivre qui répondirent bien à leur objet pendant le reste de l'expérience, car ils se brisent rarement. Le recul devenait très-violent à mesure que les expériences avançaient ; les bielles pendantes furent enlevées à la fin, et le canon fut mis sur une espèce d'affût qui reculait en remontant sur un plan incliné arrêté par du sable. Il a été constaté cependant,

par l'inspecteur de l'artillerie, que l'on a éprouvé une grande difficulté à compléter l'épreuve, même avec cet arrangement. Le canon employé pendant ces expériences était de la manufacture d'Elswick, fait entièrement sur le principe des glènes, et pesait 81 quintaux 3 quarts 16 livres, et avait à l'extérieur les dimensions usitées. La force remarquable exhibée par ce canon est très-satisfaisante et paraîtrait ne rien laisser à désirer à cet égard, sauf quelques perfectionnements dans les pièces de lumière que l'on cherche tous les jours à réaliser. »

438. Il faudrait remarquer au sujet de cette expérience ce qui a été suggéré devant le comité choisi d'artillerie par le commander Scott (1868) : 1° que le grant espace de temps employé pour les expériences a mis le canon dans l'impossibilité de s'échauffer; 2° que le plomb était enroulé sur les cylindres et ne remplissait pas l'âme du canon; 3° que la vitesse des gros cylindres étant inférieure à celle du boulet du service l'effet destructif du ballottement du boulet en traversant la rayure était modifié, et 4° que le canon était tenu parfaitement propre.

439. Sir William Armstrong a établi devant

le comité choisi d'artillerie (1863), qu'avec des canons qui ont tiré antérieurement 100 coups avec des boulets qui pèsent jusqu'à 100 livres, un canon a résisté à 319 coups d'épreuve, un autre à 274, un autre à 357, un autre à 261, un autre à 313, un autre à 119, et un seulement à 27 coups d'épreuves. » Il a aussi constaté qu'un canôn craqué précédemment avait résisté à 15 coups d'épreuves, ce qui démontrait la dernière élévation dans la force du canon.

Quant à la durée de quelques-uns des canons de 12, il dit : le n° 7 a tiré 3,263 coups; il est parfaitement bon et propre au service. J'ai ici un autre canon de 12 li. qui a tiré 1453 coups, un autre qui a tiré 1515 coups, un autre qui a tiré 1911 coups, et un autre qui a tiré 1146 coups, que l'on peut citer comme des exemples de la grande durée de ces canons. »

440. Le tableau 64 donne la liste de tous les canons qu'on a renvoyés à Woolwich pour les réparer jusqu'au 3 juin 1863 *. Sir William

* Nous n'avons pas de moyens de savoir combien on n'a pas renvoyé des canons qui auraient eu besoin de réparations; mais nous savons (443) qu'on a besoin de faire plusieurs réparations dispendieuses avant de livrer les canons.

Armstrong constate ce qui suit * en la comparant à celle des canons mentionnés dans le tableau 65 :

« Sur 66 canons de 9 qui ont été livrés, il n'y en a qu'un qu'on ait retourné pour lui faire des réparations; parmi les canons de 12, sur 392 pour le service de terre, et 178 livrés au service de mer, on en a retourné 13. On fait abstraction des 20 pièces de culasse, et des 22 vis de culasse qui ont été brisées. Ces canons avaient tiré environ 50,000 coups. On a livré 641 canons de 40 et on en a retourné 9. On a livré 799 canons de 110 et on en a retourné 9. »

441. Sir William Armstrong considère son système de construction comme étant très-supérieur * aux autres, parce que les inventeurs de projectiles et de rayures, etc., qui ont besoin de forts canons, réclament toujours pour qu'il soit appliqué à la confection de leurs canons que l'on fait à Woolwich. Le fait est qu'on n'a pas encore *développé* d'autre système qui leur soit accessible. La démonstration suivante de M. Whitworth traite très-bien cette question. »

* « Rapport du Comité choisi sur l'artillerie, » 1863.

TABLEAU LXIV. — **Liste de tous les canons Armstrong renvoyés à Woolwich et exigeant des réparations jusqu'au 5 juin, 1863.**

(D'après le rapport du *Select committee on ordnance*, 1863.)

Nature du canon.	Ou fait.	Coups tirés.	NATURE DE L'AVARIE.	REMARQUES.	Prix des réparations.
Pièce de	R. G. F.				Dollars.
9	»	50	Fêlure extérieure à 3 po. de la bouche	Pas encore réparée................	....
12	»	Pas indiqué.	Fêlure extérieure dans la culasse.....	Réparée et propre au service.........	29.75
12	»	227	Fêlure dans la volée	Impropre au service. A raccourcir....	....
12	»	26	Glène derrière le tourillon changée de place et tube interne brisé	Dito	....
12	»	36	Doublure changée de place, de 0.15 po.	Pas encore réparée	....
12	»	17	Glène derrière le tourillon fêlée en long.	Impropre au service. A changer	....
12	»	200	Fente dans l'âme à 21 po. de la bouche.	Limée et propre au service	1.50
12	»	Pas indiqué.	Fente dans l'âme à 37 $^3/_4$ à 39 po....	Dito Dito	1.37
12	»	»	Mauvaise fente dans l'âme à 57 p. (mauvaise soudure)	Nouveau tube interne. Bon au service.	105.48
12	»	276	Tube intérieur craqué de part en part à 6 po. de la bouche	Hors de service. A changer..........	....
12	»	993	Tube intérieur craqué de part en part à 40 po.	(Nouv. doubl. qui a manq. à l'épreuve, en mettre une autre. Prop. au service)	165.93
12	»	479	Doublure changée de place de 0.15 po.	Réparé et bon pour le service	5.20
12	»	Pas indiqué.	Doublure dans la chambre à poudre craquée par 10 coups de développement.	Pas encore réparé	....
12	»	»	Doubl. dans la chambre à poud. craq.	Dito	....
20	»	372	Doublure fendue	Nouveau tube en glène mis à l'intérieur au lieu d'une doublure...........	150.32

40	E. O. C.	26	A sauté à 22 po. de la bouche pour avoir négligé d'enlever la feuille du boulet d'exercice.................	Nouvelle culasse. Bon pour le service.	400.20
40	»	non rapporté.	Fente dans l'âme à 49 ¹/₂ po. de la bouc.	Limé et propre au service	2.81
40	»	29	Dito à 46 po...........	Dito Dito	3.75
40	»	17	Dito à 17 ¹/₂ po.........	Dito Dito	3.16
40	»	137	Fente dans le bout de l'âme à la cul..	Dito Dito	3.18
40	»	non rapporté.	Fente dans la chambre à poudre.....	Réparé avec un petit grain. Bon au serv.	26.50
40	»	671	Glène à l'avant des tourillons dérangée 0.15 po.....................	Nouvelle glène. Bon pour le service...	48.54
40	»	244	Rayure endommagée par l'obus......	Doublé partout et bon au service.....	197.93¹/₂
40	»	5	Tube intérieur craqué.............	Doublure partout. Employé pour essayer les pièces de lumière............	188.50
110	K. G. F.	294	Rayures endommag. par l'obus et paille dans la chambre à poudre.........	Réparé et bon pour le service	465.53
110	»	81	Fentes dans la chambre à poudre	Rép. avec un baril de glènes. Bon p. le s.	202.18
110	»	84	Dito Dito	Dito Dito Dito	224.50
110	»	325	Craquement au trou de la voie.......	On a mis deux tubes nouveaux	217.73¹/₂
110	»	57	Fentes dans la chambre à poudre....	Pas encore réparé	....
110	»	128	Expansion de la chambre à poudre...	Dito	....
110	»	388	Fentes dans la chambre à poudre.....	Dito	....
110	»	200	Craquements dans la pièce de culasse.	Pas encore réparé. Employé pour éprouver les pièces de culasse..........	....
110	»	81	Paille dans la chambre à poudre.....	Pas encore réparé. Employé pour éprouver les pièces de culasse..........	....

TABLEAU LXV. — Liste des canons Armstrong mis hors de service en éprouvant les pièces de lumière.

(D'après le rapport du *Select committee on ordnance*, 1863.)

Nature des canons.	Lieu de leur fabrication.	Nombre des canons.	Charges d'épreuve = 2 charges du service. Coups d'épreuve tirés.	REMARQUES.
Pièce de 6	R. G. F.	36	9	
9	»	...	Pas un mis hors de service.	
12	»	...	Pas un mis hors de service.	
20	»	...	Pas un mis hors de service.	
40	E. O. C.	17	460	
40	»	147	369	
40	»	166	1050	
40	»	184	144	
40	»	503	135	
110	R. G. F.	17	15	Craqué après 200 coups, à bord du vaisseau de S. M. *Hero*, et non réparé.
110	»	135	309	
110	»	657	247	
110	»	663	357	
110	»	683	261	
110	E. O. C.	28	313	Éprouvé antérieurement pour la durée avec 100 coups, le poids du boulet montant jusqu'à 1000 livres.
110	»	143	27	
110	»	191	119	

Q. « Pensez-vous que le système de fabrication d'après le principe de sir Willam Armstrong soit bon ou mauvais?

R. « Je le crois plutôt mauvais. »

Q. « Alors pourquoi voulez-vous en prévaloir?

R. « Parce que je voulais démontrer que je pouvais, et je pense que je le pouvais, — envoyer un obus à travers des plaques de cuirasse, et qu'il n'y avait pas d'autres moyens pour moi d'en venir à bout que le canon fait avec une âme de 7 pouces pesant 7 tonnes fait à Woolwich. Je suis convaincu qu'aucun gros canon fait avec du fer soudé ne résistera. Je condamne radicalement le fer soudé dans toute espèce de canon, soit pour le tube interne, soit pour les glènes.

Mais l'avarie de ce même canon après moins de trente coups, de la manière indiquée par M. Whitworth, est une preuve beaucoup plus concluante contre le système. Le canon de 9 po. fait d'après les mêmes plans à Woolwich, pour M. Lynall Thomas (34), n'a tiré que peu de coups. Le premier canon Armstrong de 10 $^1/_2$ se chargeant par la bouche a éclaté pour la seconde fois après un court service (446).

442. On cite comme un avantage du système Armstrong que les canons avariés peuvent être mis à part et réparés en détail (voir tableau LXIV), sans sacrifier la structure entière comme dans le cas des canons massifs. Mais ce trait particulier est un remède d'un défaut de nature de ce genre de canon, — le manque absolu d'intégrité créée la faiblesse et hâte le manquement.

443. DÉFAUT DU SYSTÈME. — Tous les canons mentionnés dans le tableau 64 ont manqué après avoir été livrés au service. Il est évident d'après les faits élucidés par le comité d'artillerie en 1863, sur les canons de 40, que plusieurs d'entre eux ont manqué avant d'être livrés. Sur 192 canons, 153 avaient échappé par le côté et avaient été réparés au prix de 20,270 dollars, (4,054 liv. sterl.); 21 ont été romaillés de part en part au prix de 3,701 25 dollars (740 § 5); et 25 ont été romaillés avec des tubes de diverses longueurs. A la vérité, sir William Armstrong a dit que c'étaient des affaires de manufacture, et non pas des réparations. »

444. Le défaut le plus évident du canon Armstrong consiste dans le matériel que l'on emploie, sa mollesse et la facilité à céder qui

en résulte, sous la pression du gaz de la poudre: Puisqu'on ne pourrait souder de cette façon aucun autre métal que du fer travaillé, on peut très-bien arguer de ce défaut contre le système*.

On a déjà cité la preuve que M. Anderson et sir William Armstrong reconnaissent ce défaut (402). Quelques exemples feront ressortir le caractère du manquement. Un canon Armstrong de 6 1/2 po., éprouvé par comparaison avec un canon forgé massif de la Mersey, résista 100 coups avec des charges croissantes, tandis que le canon de la Mersey éclata au 70e coup; mais au 60e le canon Armstrong avait une cavité de 2,75 po. de profondeur dans la chambre. Le côté du canon de 200 se chargeant par la culasse fut bossué au 7e coup. Un canon de 110, qui avait tiré 127 coups avec 27 1/2 livres de poudre et 48 avec 14 livres, fut mordu et craqué dans la chambre. Par la suite, 133 coups tirés avec 27 1/2 livres le séparèrent près des tourillons. On raconte qu'un canon de 110 a été fracturé dans la chambre

* D'après la démonstration de M. Anderson («Rapport du Comité d'artillerie,») 1862, les espèces de fer dar se soudent mal, en sorte que les glèens se fendent.

et détruit dans la rayure après 57 salves du service. Le canon de 9 po. fait pour M. Lynall Thomas d'après ce plan aussi bien que le canon de 7 pouces fait pour M. Whitworth, ont changé de figure d'une manière permanente; — le premier est impropre à un service régulier après moins de 30 coups. Le premier canon de 10 1/2 a été mordu dans la chambre avec une charge de 90 livres (446) et un boulet rond de 150 livres **.

On laisse tous les canons Armstrong avec une âme plus petite que leur dimension finale pour permettre l'expansion pendant les épreuves, — et ils s'étendent tous dans les épreuves, les canons de 110 à un degré considérable mais irrégulier.

445. La petite quantité de « travail fait » pour étendre légèrement le fer forgé, — sa grande ductilité, — permet aux cercles du canon Armstrong de se relâcher. Dans plusieurs circonstances les tubes intérieurs ont manqué

** « La chambre du canon de 600 devint ovale, et le tube interne se déplaça après une douzaine de coups, ou bien vingt. » *Cap. Fishbourne*. Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, mai 1864.

pendant que les tubes extérieurs restaient entiers.

En vue de la facilité avec laquelle les cercles extérieurs peuvent s'étendre, leur *fracture* dont on a mentionné plusieurs exemples dans le rapport du comité choisi d'artillerie (1863), doit être attribuée à ces effets de vibration qui sont dus à l'absence de continuité dans la substance (355). Le tableau LXIV contient plusieurs exemples des deux espèces de manquement. Mais ils sont plutôt développés dans la plus grosse artillerie.

446. Le premier canon à âme lisse de 10 $^1/_2$ po. (*fig.* 177) éclata après avoir tiré 264 boulets sphériques, avec des charges de 40 livres; dans presque tous les cas, il y en avait plusieurs de 50 livres, et quand le canon n'avait jamais été éprouvé, une de 70, une de 80 et une de 90 livres. La dernière charge ne fut pas considérée comme excessive, mais équivalente seulement, avec un boulet sphérique, à une charge de 50 livres avec le boulet de 300 livres allongé que le canon devait porter une fois rayé. D'autres canons de cette classe ont tiré un boulet de 300 livres. Au coup tiré avec 70 livres de poudre, la glène intérieure se fendit dans la spirale de la soudure;

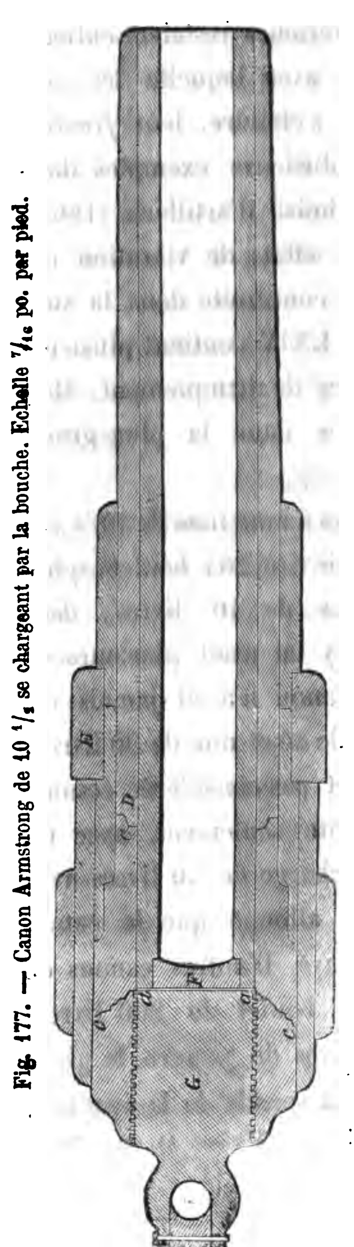


Fig. 177. — Canon Armstrong de 10 $^1/_2$ se chargeant par la bouche. Echelle $^7/_{16}$ po. par pied.

le coup suivant, avec 80 livres, cette fêlure se ferma et il s'en ouvrit une autre parallèle et proche la première. Le coup d'après, avec une charge de 80 livres, il y eut une fêlure parallèle à l'âme, dans la glène extérieure, derrière les tourillons. Après quelques coups en plus, la pièce de culasse se sépara comme on le voit dans la ligne ponctuée *a c* et sauta; la figure 178 montre l'état du canon après la fracture. Ce résultat fut accéléré incontestablement par les gaz qui s'échappèrent entre le bouton mobile F de la chambre, et le disque mobile *a a* et en pres-

sant sur la plus grande surface du tampon à vis *.

Ce canon ** ayant été réparé, un des tubes extérieurs craqua de nouveau, ce qui mit le canon hors de service après quelques coups tirés avec 50 livres de poudre et un boulet rond. Et les nouveaux canons de 10 $^{1}/_{2}$ po. qui ont été rayés ont une durée si bornée que la charge avec un boulet allongé a été réduite de 50 à 45 et enfin à 35 livres. L'un d'entre eux fut fracturé dans la volée au 8e coup par le pincement soudain du boulet fuyant.

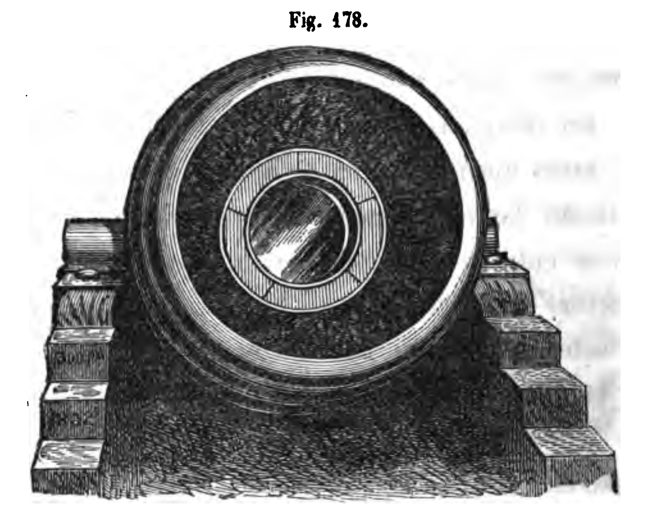
447. Voici le rapport du comité choisi d'ar-

* Il est à propos de remarquer que la même construction a été adoptée pour les nouveaux canons faits à Elswick; ceux de M. Anderson étaient faits avec un tube interne fermé solidement (32).

** M. Anderson a dit, au sujet de ce canon éclaté, devant le Comité choisi d'artillerie, 1862, que « pour prévenir tout échappement de gaz qui aurait pu exister, on avait laissé un passage annulaire autour du canon, et, en le dessinant, on a vu que c'était une ouverture sur le côté. L'ouvrier, en faisant cette ouverture, trouva un trou dans une autre partie du canon, et non pas dans le passage, d'où, quand la fuite du gaz eut lieu, la pression était exercée sur une surface beaucoup plus grande; il n'y avait aucun jour dans la partie solide, c'est pour cela que la pression se répandit sur une surface presque double. »

tillerie au sujet du manquement du canon fuyant de 120 *. « Le comité a l'honneur d'exposer

Fig. 178.



Le premier canon de 10 po. 1/2, après avoir éclaté, d'après une photographie.

au secrétaire d'état, que le canon fuyant de 120 se chargeant par la culasse, qu'il a autorisé à tirer avec un boulet réduit à 100 livres et une charge du quart, s'est échappé dans la glène des tourillons à la seconde charge, et qu'il est à présent hors de service. Le poids du boulet tiré dans le moment de l'accident n'était que de 98 livres et la charge de 24 livres. Le canon

** « Rapport du Comité choisi à l'artillerie, » 1863.

ayant été tiré impunément par le comité des plaques de fer avec un boulet de 140 livres, et une charge de 20, cet accident ne peut être attribué à la sévérité de la charge. Il a néanmoins tiré 103 coups, et le bris actuel doit être attribué à la faiblesse originelle constatée par sir William Armstrong comme existant à son intérieur, et doit être la conséquence de ce que l'on a employé de la poudre 2 A 4. Le comité n'appréhende pas que la deuxième raison soit la véritable, et la position indiquée pour le craquement, qui est loin sur l'avant, tend à démontrer qu'il a dû exister une paille, parce que la force de la poudre aurait diminué à moins de la moitié de sa force originelle par l'expansion, avant de pouvoir opérer sur cette partie de la structure. »

Peut-être que le coup soudain du boulet fuyant au moment où il avait son centre sur cette partie de l'âme, et les effets divers de la vibration rendraient raison de ce manquement, depuis que l'un des canons de 300 a échappé dans une place semblable.

448. On dit que les charges de 25 livres de poudre ont détruit rapidement les canons de

110. La charge (pour boulet) du service a été réduite de 14 à 12 livres dans ces canons.

L'effet des parties multipliées est démontré par l'échec des canons obturés sur lesquels le comité choisi d'artillerie a recueilli beaucoup de témoignages, pendant la session de 1863.

Presque toutes les anciennes pièces de 12 patentées ont été trouvées trop faibles, et elles sont altérées parce qu'on en a coupé 12 po. sur la bouche, et qu'une glène plus lourde et plus longue a été placée en avant des tourillons.

Le caractère général de ces manquements — en général les diverses pièces du canon sont déliées et ébranlées après un court service, — quoiqu'aggravé par la mollesse et l'extrême ductilité du métal, doit être imputée en grande partie au manque de masse et de continuité des parties.

119. Quoique les soudures soient placées dans la direction des efforts les plus petits, dans leur témoignage devant le comité choisi d'artillerie (1863), M. Anderson et d'autres au-

torités ont admis que les glènes internes se fendent très-fréquemment *.

Quant aux soudures M. Anderson dit : « Avec le fer de la meilleure qualité que nous ayons pu obtenir, la tenacité moyenne la plus élevée de la soudure de la glène a été de 32,140 livres par pouce carré, celle du fer étant de 55,500 livres. »** On verra par là que la force maximum d'une glène dans la direction de la circonférence est

* En discutant ce sujet en décembre 1861, devant l'Institution du Service-Uni, le commander Scott a dit : « — Les glènes dont le canon est composé, quoiqu'extrêmement fortes pour résister à une pression interne directe, montrent souvent des fentes après le tir **; les glènes sont aussi sujettes à se séparer. Cela est démontré par le canon de 100 que l'on a renvoyé de Shoeburyness, tristement félé dans le tube intérieur de la culasse, et dans un autre canon que l'on a renvoyé pour avoir eu une fente pareille dans une partie analogue. La chose s'est manifestée également dans le canon de 12, qui a manqué, et qui est devenu tout à fait hors de service, dans le service ordinaire à Shoeburyness. *** La réparation des glènes est survenue fréquemment « dans l'épreuve,» avec les canons de 40 et de 100, et a eu aussi lieu avec le canon fuyant de 120, et l'on peut s'attendre qu'elle arrivera dans le service par suite du choc et du frottement résultant de la lutte qui s'opère avant que le *boulet plombé* ne se mette en mouvement, et l'effort pour le faire passer dans un trou plus petit que son diamètre. »

** Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, août 1862.

d'environ 55,000 livres par pouce, tandis qu'elle n'est que de 32,140 livres par pouce dans le sens de la longueur. »

450. Le défaut suivant est mentionné par le capitaine Fishbourne *. « Les glènes sont contractées à chaud ; par conséquent le métal se rétrécit dans toutes les directions, et les joints s'ouvrent ; il leur serait impossible de se fermer ; les pièces qui se collent sur les joints font reconnaître ce défaut. Ce sont autant de points de faiblesse, et toute la grande vibration qui a lieu toutes les fois que l'on tire le canon doit réagir sur ces parties séparées, sans avoir d'effet distributif, parce que la continuité du canon est brisée, ce qui doit conduire à sa désagrégation rapide. »

451. Un autre désastre possible, sérieux peut-être, mais auquel on n'est pas très-exposé quand les canons sont complétement à l'abri dans des tourelles ou des casemates, est le dommage occasionné par les coups de boulets, ou les éclats de cuirasse. « Il s'est manisfeté, » dit le commander Scott **, quand on a essayé le tir de la

* Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, juin 1862.

** Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, décem. 1862.

pièce de campagne en bronze, de 9, à âme lisse, celui du canon rayé de 12 en glène, et aussi celui du canon de 9 en bronze. Les charges avaient été très-réduites, de manière à produire l'effet d'un tir à grande distance. Dans cette expérience le canon de 12 pouces a été brisé en morceaux en trois coups, dont un seul était capable de le mettre hors de service; tandis que le canon de 9, après avoir reçu le même nombre de boulets sur un côté, a soutenu une pareille décharge contre l'autre et est resté bon pour tirer des grappes de raisin, des boîtes à mitraille et des boulets ronds de 6 livres. En effet, rien que pour un seul coup sur les parties les plus minces de la volée, le canon aurait pu continuer à tirer ses munitions habituelles; et tandis que la pièce, se chargeant par la culasse, n'aurait peut-être pas valu la peine d'être emportée du champ de bataille, le canon de bronze aurait dû être remis en aussi bon état de service que jamais, dans une couple d'heures. »

452. M. Anderson disait devant la commission de défense en 1862, au sujet de la nécessité d'employer ce système pour de très-gros canons, que « construire le canon au moyen de

portions de fer superposées l'une sur l'autre paraissait être le seul moyen efficace pour construire des canons énormes et les avoir faits dans la perfection; » et qu'en se consultant avec d'autres personnes, il avait calculé que l'on pouvait faire des canons de 24 pouces, mais avec une dépense considérable. Il disait que la grande difficulté de la fabrication consistait dans la manipulation de ces énormes masses, mais qu'il avait dressé des plans « pour faire des hommes géants — à l'avenant. »

* * * Il vous faudrait un arrangement qui mettrait un homme ou deux en état de manœuvrer vivement ces grandes choses sans les approcher.

455. La réussite du système dépend certainement de l'usage de machines dispendieuses; et une fois la chose commencée, son développement était avant tout une affaire d'argent. Les difficultés à surmonter étaient nombreuses et formidables. L'union convenable des anneaux sur les bouts, la proportion à établir pour donner la force requise à la pièce de culasse dans le sens de sa longueur, l'ajustement des cercles pour leur donner la tension initiale nécessaire, et l'élasticité générale de toute la struc-

ture pendant le tir, la quantité d'expériences coûteuses qui en étaient la suite naturelle, enfin l'accès à la bourse du gouvernement étaient une condition importante, sinon essentielle, pour la production finale du canon actuel de Armstrong. Si les sommes encore plus grandes qui ont été dépensées pour un mauvais système de rayures et un système de chargement par la culasse qui n'était pas nécessaire, eussent été consacrées à adapter l'acier inférieur, d'où M. Anderson attend évidemment de grands résultats, malgré toutes ses préférences pour le fer, — le canon Armstrong aurait été probablement beaucoup plus formidable.

484. SOUDURE. — Le fer forgé le plus dur et le plus coriace, tel que celui qui est employé par le capitaine Parrott pour renforcer les canons de fer coulé, — peut, en effet, être mordu et étendu par les plus fortes charges ; mais son défaut principal, quand il est soudé en masse d'une grandeur suffisante pour éviter les effets destructifs de la vibration (335), consiste dans l'adhérence imparfaite des pièces nécessairement petites (415).

Il n'y a pas d'obstacle aux soudures, c'est-à-dire à l'union intime des parties qui seraient séparées.

En effet, les derniers atomes de matières ne sont pas censés être dans un contact absolu l'un avec l'autre. Ils sont tenus éloignés à une certaine distance par la chaleur et empêchés de se séparer davantage par l'attraction de la cohésion. Quand ils sont violemment séparés au delà de la portée de la cohésion, ils ne peuvent être réunis de nouveau, s'ils ne sont pas rapprochés plus près l'un de l'autre que leur distance originelle. Quand ils ont été ainsi assemblés, chauds ou froids, l'ancien antagonisme des forces reprendra. La chaleur n'est qu'un des moyens convenables pour rétablir la distance entre les atomes, parce qu'elle leur permet de se mouvoir entre eux-mêmes et de s'ajuster par la pesanteur quand on atteint une chaleur de fusion, et par une légère pression quand on n'atteint qu'une chaleur pour amollir le métal. Le fer coulé, l'acier coulé et le bronze peuvent se souder à une chaleur de fusion ; mais, quoique le fer forgé ne puisse être fondu à une chaleur pratique, tous les ouvriers en fer savent qu'on peut le traiter de telle façon qu'il ait beaucoup plus de force sur la soudure que partout ailleurs, et qu'il soit quelquefois plus fort, parce que le fer, à ce degré de chaleur, est mieux forgé.

455. D'où il est évident que, quoique dans la pratique générale, les soudures sont traitées comme points faibles, et que l'on donne, particulièrement dans les grosses pièces forgées, plus de matière à l'endroit des coutures ou des pailles, il n'y a pas de loi physique contre la solidité de la soudure, si les deux fers sont unis ensemble sous la chaleur et sous la pression convenables. Il faut, pour ce procédé, une certaine quantité de fraisil; mais il existe déjà dans le fer, ou on peut y suppléer artificiellement. S'il y avait trop de fraisil, on courrait risque de le renfermer sur les bords du fer et d'empêcher ainsi l'union du centre (*fig.* 179). Pour remédier à ce défaut, on a proposé depuis longtemps de couper les parties de telle sorte que le centre ou une des parties puisse être uni d'abord, permettant ainsi au superflu du fraisil de se serrer en dehors sur un des bords ou sur tous les deux, quand on amène les parties à se joindre (*fig.* 180 *et* 181). Ce perfectionnement, dont on n'a pas

Fig. 179.

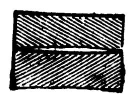


Fig. 180.

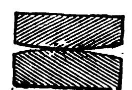
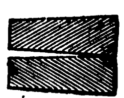


Fig. 181.



besoin dans le canon Armstrong, parce qu'on amène

les glènes à plat l'une sur l'autre (attendu qu'elles dépassent légèrement par le procédé des glènes), est adopté dans la soudure du renfort du canon Parrott, en amenant d'abord les bords à se réunir (*fig.* 181).

156. La seconde condition d'une bonne soudure est qu'il ne s'interpose entre les parties aucune substance qui ne conviendrait pas. L'oxyde de fer en forme d'écailles, qui se forme très-rapidement quand une barre chauffée est exposée à l'air, est un obstacle certain à une parfaite union. Le forgeron unit ses deux barres dans le feu ou, aussi vite que possible, après qu'elles sont retirées, ou, s'il perd beaucoup de temps, il brosse l'écaille et la fait tomber, et il forme le joint à l'instant par de grands coups de marteau ; c'est ainsi qu'il fait une bonne soudure. Mais il doit s'écouler plusieurs minutes avant que de grandes parties de fer puissent être unies. Pendant ce temps-là, il se forme des écailles dans les endroits d'où on ne peut les retirer. Le fer s'oxyde avec une rapidité surprenante à la chaleur de la soudure ; on le voit dans l'opération du corroyage des tubes du canon Armstrong, quand ils sont soudés bout à bout (8). Les écailles qui se forment sur l'intérieur

du tube sont détachées à chaque coup de marteau qu'on donne sur l'extérieur, exposant ainsi une surface fraîche à l'oxydation. A la fin du procédé, les écailles forment un tas de plusieurs pouces à l'intérieur du tube.

457. Pour dresser la glène Armstrong (432), il faut l'enlever du fourneau avec une grue, l'élever sous le marteau et la mettre sur l'enclume. Pendant ce temps, une écaille épaisse, que l'on ne peut prendre pour l'enlever, a couvert la surface entière que l'on veut souder ; les premiers coups du marteau détachent cette écaille, exposant de nouvelles surfaces à l'oxydation, avant que la couture ne soit fermée d'une manière suffisante pour exclure l'air. Si les surfaces étaient travaillées en équerre de manière à la fermer d'abord sur un des bords, ou au centre d'abord, le fraisil, se répandant au dehors, pourrait enlever quelques écailles. Telles qu'elles sont, il faut que le fraisil et l'écaille soient renfermés. Ceci paraît expliquer la raison par laquelle M. Anderson ne donne qu'une tenacité moyenne de 32,140 livres aux soudures entre des barres qui supportent 55,500 livres.

458. Puisqu'on ne peut éviter l'oxydation par aucune vitesse praticable dans l'opération, le seul

remède paraît consister dans l'exclusion de l'oxygène, c'est-à-dire à faire la soudure *dans une atmosphère ne renfermant pas d'oxygène,* ou du moins rien que la trace. Les produits gazeux de la combustion donnent une atmosphère de cette espèce. Les parties y sont déjà quand on les porte à la chaleur de soudure, et elles n'ont besoin que d'un contact convenable avant d'en être retirées pour éviter les interpositions d'écailles.

Il y a longtemps que M. W. Bridges, de Londres, a proposé le gaz à soudure. Il en a été question lors de la discussion sur la construction de l'artillerie déjà citée *. Voici comment il s'exprime : « Quant à la question des canons construits et des pièces forgées massives, la condition pratique actuelle de l'art du forgeron rend les premiers préférables; mais il était probable que si l'on avait adopté pour les soudures des jets intenses de gaz enflammé, au lieu de la chauffe dans un fourneau, les fabricants auraient été mis en état d'entasser des masses de fer parfaitement soudées, sans aucune oxydation sur leurs surfaces internes. »

459. Ce système a été appliqué avec un grand

* « Construction de l'artillerie. » Instr. aux Ing. civils, 1860.

succès à la construction des chaudières à vapeur, si l'on considère le caractère primitif des machines et des procédés employés par M. William Bertram, de Woolwich *. Les bords à souder sont mis en contact entre des jets de flammes provenant de deux fourneaux attachés à des grues ou à des chariots, un sur chaque côté, après quoi on retire les fourneaux et on fait la compression (il n'en faut pas beaucoup quand les surfaces sont nettes et s'ajustent bien) par des marteaux à main ou des martinets à vapeur, fixés de telle sorte sur les mêmes grues ou chariots, ou bien sur d'autres qu'on peut les mettre en service instantanément. Les expériences du gouvernement, à Woolwich, montrent la fraction de force de la soudure, celle de la plaque étant mesurée par 100.

Joint au rouge	plaque de 1/2 po.	82 1/2
dito.	dito 7/16 po.	101
dito.	dito 3/8 po.	105.7

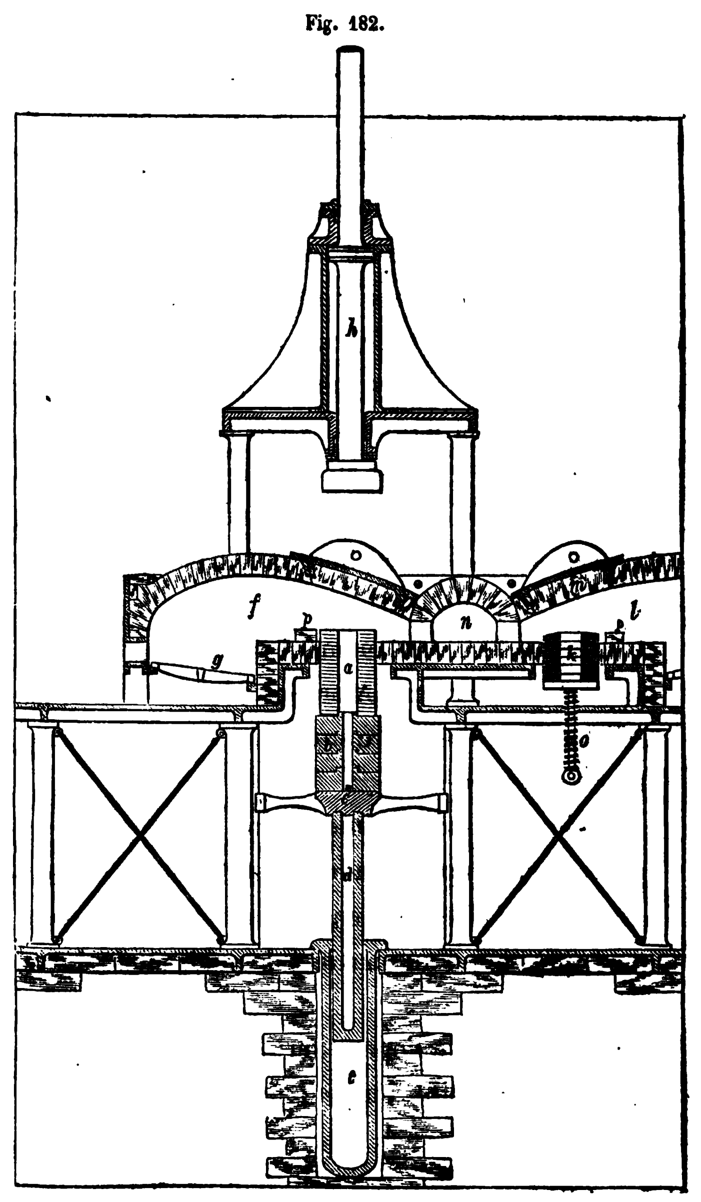
Le procédé Bertram est employé avec succès par la compagnie des fers Butterly, en fabriquant les grosses solives Le soufre qui se trouve dans le charbon est une autre cause de soudures imparfaites. Les mauvais effets de ce minéral sont si formidables que M. Bessemer fait fondre le fer en

gueuse pour le convertir par son procédé, dans un fourneau à réverbère, plutôt que de le mettre en contact avec du soufre dans un fourneau à dôme.

Une chauffe et une pression appropriées sont les conditions qui restent à remplir pour faire une bonne soudure. Quoiqu'on n'ait besoin que d'une petite pression, une pression des plus fortes ne peut nuire en aucune façon ; mais, au contraire, elle rendra le fer meilleur.

460. SYSTÈME HITCHCOCK. — Pour appliquer à la fabrication des gros canons les principes de soudure résistante que l'on vient d'exposer, M. Alonzo Hitchcock, de New-York, a proposé le système illustré dans la (*fig.* 182.) Le fer est chauffé dans un fourneau à réverbère, pour éviter son contact avec le soufre et les autres impuretés du charbon. Le canon est formé d'anneaux de fer forgé ou d'acier inférieur, faits sans soudure (68), et dressés ou buttés ensemble par un procédé pareil à celui de Ames (128). Les anneaux sont formés de manière à s'unir d'abord au centre (455), afin que le superflu du fraisil puisse être serré en dehors. L'enclume (*b*) repose sur le piston d'une presse hydraulique (*é*) de manière à s'abaisser à mesure qu'on ajoute des anneaux (*a*) les uns sur les autres.

Fig. 182.



Système de Hitchcock pour forger les canons.

Le fourneau (*f*) est situé entre l'enclume et le marteau à vapeur (*h*), et disposé de telle sorte que les anneaux se projettent sur lui par en dessous, et que le marteau glisse en tombant d'en haut.

L'anneau qui doit former la bouche du canon est établi sur l'enclume mobile et s'avance assez dans le fourneau pour permettre à la flamme de l'élever à la chaleur de soudure. Cependant, dans une autre partie du fourneau, les anneaux (*k*) sont chauffés pour être soudés en même temps, en proportionnant la chaleur au volume relatif des deux parties, au moyen de rafraîchissants. Sans enlever les parties d'une atmosphère où il y a très-peu d'oxygène en cas qu'il s'y en trouve, on les met ensemble et on les soude instantanément avec quelques coups de marteau à vapeur. Alors, on abaisse l'enclume de l'épaisseur d'un autre anneau, et on recommence le même procédé.

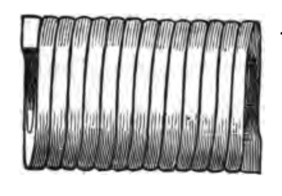
Quoique le canon puisse être d'une grandeur quelconque, on peut rendre les parties que l'on unit actuellement si légères, en réduisant leur épaisseur, que la pression d'un martinet de poids modéré sera suffisante.

Et quand toute l'opération de la mise en place se réduit à un joint, on peut appliquer exactement

la pression requise pour ce joint ; et il n'y a pas à craindre d'avancer les autres parties, en les établissant solidement, parce que la masse du canon s'est refroidie par en dessous, et qu'elle forme un pilier solide — qui dans la pratique est le prolongement de l'enclume.

461. Les coups donnés sur le bout de la glène de Armstrong (*fig.* 183) ont à souder un grand nombre de joints ; ceux qui sont près de l'enclume, et ceux qui, par suite d'une mauvaise position exigent la plus forte pression, ne sont pas toujours placés en dessus jusqu'à ce que les autres parties du tube, qui est une longue colonne amollie par la chaleur, soient bossuées et défigurées. Pour éviter de détruire les tubes de cette façon, on les fait courts, ce qui oblige à les unir à un grand prix par des procédés successifs. Ces tubes eux-mêmes se bossuent et ont besoin d'être rétablis dans la forme cylindrique par le corroyage (8).

Fig. 183.



462. Il semblerait que l'on peut atteindre de cette façon toutes les qualités d'une bonne sou-

dure, si l'on pouvait appliquer ce procédé dans la pratique. L'objection soulevée par quelques fabricants de fer, que l'anneau simple sera brûlé avant que la masse plus grande ait été chauffée au point de soudure, est mal fondée. Certainement, on peut régler avec la dernière précision la chaleur de deux fourneaux différents, celle qu'ils ont actuellement comme celle qu'on veut leur donner. En outre, la masse est déjà chaude avant que l'anneau à lui ajouter ne soit mis dans la flamme. Pour mettre une enclume sur l'eau, on n'a besoin que de la force que l'eau peut renfermer. Une vis répondrait au but que l'on se propose et ne serait pas sujette à se déranger, puisqu'un ajustage précis n'a pas d'importance, et qu'il n'existe pas au moment du coup. Ou bien, la vis pourrait être employée simplement à élever et à abaisser l'enclume — la force du coup étant reçue par des masses d'épaisseur variable, placées entre l'enclume et son siége.

463. Les difficultés mécaniques ne paraissent pas sérieuses, et on peut faire une dépense considérable pour un appareil, avec la certitude qu'il donnera un travail solide. La dépense pour apprêter les bouts des tubes courts par le procédé Armstrong se trouve évitée, ainsi que celle de la cons-

truction de fourneaux immenses et d'énormes martinets pour chauffer et condenser jusqu'au noyau des pièces de forge de 30 ou 40 tonnes. En effet, le fourneau peut ne pas être plus grand que celui que l'on emploie pour souder au gaz les tubes Armstrong (8).

464. Le procédé de M. Hitchcock était destiné spécialement à la fabrication des canons d'acier inférieur, — les anneaux qui devaient être faits sans soudure étant coulés à l'origine sous la forme de petits anneaux épais, et roulés ensuite « dans une machine à rouler les tirants modifiée » afin d'avoir un plus grand diamètre et une plus petite section. Ce traitement développait une fibre sans fin dans les anneaux dans la direction de la circonférence (68).

465. Le fer forgé peut être formé en anneaux sans coutures parallèles à l'âme, par le procédé de Ames (128) en aplatissant une masse sous le marteau et en la perçant ou en y faisant un trou. Les anneaux (tirants) sont faits sans soudure, par M. Krupp, en perçant des trous dans les bouts d'un barre (*fig.* 184) en faisant une voie entre ces trous, et ouvrant alors les côtés. M. Bessemer a donné un brevet pour un plan pour faire des cercles — en

aplatissant des mases d'acier inférieur en grands plateaux, et en les forant et les perçant. La matière ainsi traitée serait très-solide, et la fibre courrait à la fois dans le sens du rayon et dans celui de la circonférence ; c'est-à-dire que les cristaux seraient placés par couches laminées au lieu d'être étirés dans le sens des fibres. Ou bien les anneaux de M. Ames pourraient être roulés dans la machine à tirants, de manière à produire un grain circulaire à l'infini. De plus, des glènes Armstrong très-courtes pourraient être soudées ensemble par le procédé Hitchcock, en évitant ainsi les embarras du procédé actuel de Armstrong.

Fig 184.



Méthode Krupp pour faire des anneaux massifs

SECTION VI. — ACIER.

468. ACIER SUPÉRIEUR ET INFÉRIEUR. — On entend par acier supérieur celui qui contient une grande quantité de charbon et dont la pesanteur spécifique est par conséquent très-inférieure. Ses propriétés distinctives sont une ténacité et une dureté poussées à la dernière limite, et la faculté de s'étendre sans changer sa forme d'une manière

permanente. Mais son extensibilité est très-petite au-delà des limites de son élasticité, ce qui le rend très-cassant au choc. Il se durcit quand on le chauffe et qu'on le plonge dans l'eau; il se soude difficilement, parce qu'il s'altère sous une grande chaleur et que sa chaleur de soudure est très-voisine de son point de fusion; on le soude à une température inférieure à celle du fer forgé.

Sa propriété de se casser est un défaut évident pour les canons; mais si on l'emploie en si grande masse que la limite de son élasticité ne soit jamais dépassée, ou s'il est enveloppé par un métal moins extensible (320), ce défaut est corrigé ou modifié. Cependant l'acier inférieur est un métal plus convenable pour canons d'après les essais qui ont eu lieu jusqu'à présent.

L'acier inférieur que l'on appelle aussi acier doux, *mild steel*, « métal homogène, et fer homogène » contient moins de charbon et a une pesanteur spécifique plus grande; on peut le souder sans difficulté, quoique la surchauffe l'altère, et qu'il se rapproche davantage de toutes les autres propriétés du fer forgé, bien qu'il le surpasse par sa dureté et sa plus grande tenacité,

aussi bien que par sa ductilité inférieure qui est proportionnée au carbone qu'il renferme. Il est moins extensible que l'acier supérieur dans les limites de son élasticité, mais une fois dépassée, son extensibilité est plus grande, en d'autres termes sa ductilité augmente.

Le grand avantage de l'acier inférieur sur le fer forgé, dans presque tous les cas, consiste en ce qu'on peut le fondre à une chaleur pratique, et le verser en grandes masses ; ce qui permet d'éviter le défaut très-sérieux des grosses masses de fer forgé — c'est-à-dire son manque de bonne confection et d'homogénéité. Les autres avantages importants pour canon sont une élasticité plus grande, sa ténacité et sa dureté.

407. ÉLASTICITÉ ET DUCTILITÉ. — M. Anderson, sir William Armstrong, M. Mallet et d'autres fabricants se plaignent dans plusieurs rapports qu'ils ont publiés, que la plupart des aciers qu'ils ont éprouvés pour canons sont trop cassants — qu'ils s'échappent sous des efforts *soudains* auxquels le fer forgé résisterait. C'est pour cela que l'acier, surtout l'acier supérieur, a été condamné comme métal à canons.

En répondant à cette objection, qu'on nous per-

mette de repasser brièvement ce que nous avons dit sous le titre « Ductilité » (344). Supposons deux tubes minces d'égale dimension ; l'un en acier supérieur et l'autre en fer forgé, soumis conjointement aux efforts violents et soudains de la poudre à canon. La limite de l'élasticité de l'acier est dépassée, et il se rompt bientôt parce qu'il n'a en réserve qu'une petite ductilité sur laquelle il peut tirer pour s'allonger en entier. La limite d'élasticité du fer forgé est dépassée beaucoup plutôt, mais il a un immense capital de ductilité à dépenser, et ainsi il s'étend et s'étend longtemps avant de rompre.

Maintenant supposons que l'épaisseur de l'acier soit augmentée autant que la pression — des charges d'épreuves, par exemple, — sa limite d'élasticité ne sera jamais dépassée, c'est-à-dire au point que ses particules reviendront dans leur position originelle quand la pression aura cessé. Sa résistance originelle à l'effort suivant n'est pas alors dépassée; et il n'y a aucune preuve qu'elle doive jamais l'être; car l'élasticicité est simplement l'antagonisme de deux forces infatigables et invariables, — la répulsion par la chaleur, et l'attraction par la cohésion.

Mais, en vue de supporter la même pression

(et on demanderait que ce fût la plus haute pression possible de la poudre), le fer augmente également en quantité, s'étendra au-delà de sa limite élastique, et alors il faudra recourir à un nouvel arrangement de particules et à une nouvelle limite d'élasticité, pour obtenir une cohésion continue. Sa grande ductilité permet à ce nouvel arrangement de continuer pendant quelque temps; mais, bien qu'il puisse s'étendre à une plus petite distance à chaque nouvelle application de la pression, sa capacité pour s'étendre et la portée de son élasticité diminuent constamment, jusqu'à ce qu'il arrive à la fin à un point où il ne peut s'étendre davantage sans rompre. Il a épuisé sa réserve de ductilité. S'il n'en était pas ainsi, le fer ne serait jamais brisé, quelqu'extension qu'on lui donne. Outre cela, quoiqu'une surface donnée de fer étendu puisse supporter plus que la même surface du métal originel, la surface totale diminue constamment. C'est dans une grande étendue, la substitution d'un petit fer fort à beaucoup de fer faible. Afin de durer aussi longtemps que l'acier, le fer doit être en quantité supérieure parce que le travail fait pour l'élever à la limite de son élasticité est

moindre que celui qui est nécessaire pour opérer le même effet dans l'acier (349, 352, 353).

468. Ceci explique comment des tubes minces, faits en acier modérément supérieur déjà employé, manquent après un court service, tandis que des tubes de fer minces paraissent ne rien perdre par l'allongement, quoiqu'ils perdent certainement par une autre cause — la compression. C'est simplement une question d'excès de métal, et pratiquement une durée sans fin d'un côté, et le manquement au point extrême de l'autre côté.

Les mécomptes sérieux que l'on a rencontrés jusqu'ici dans l'usage de l'acier, pour les charges extrêmes de poudre paraissent provenir de ce qu'on a entièrement négligé la question des limites de l'élasticité et de la ductilité. Parce que le maximum de force de l'acier était plus élevé que celle du fer, la quantité de la matière a été diminuée proportionnellement quand il aurait fallu proportionner sa quantité au travail fait en dépassant sa résistance à l'extension.

Si l'acier, ou tout autre métal exigeant le plus grand effort que l'on puisse atteindre de la part d'une force en mouvement pour l'étendre dans les limites de son élasticité, pouvait être

aussi fait avec une grande ductilité en plus, on aurait ainsi trouvé le métal à canon le plus sûr et le plus parfait. Mais malheureusement, à mesure que la première qualité augmente, la seconde décroît (tableau 69). L'acier inférieur, la somme du métal étant la même dans chaque cas, résisterait à une plus forte pression que le fer dans les limites de son élasticité, et résisterait à des efforts soudains plus longtemps que l'acier fin; mais sa limite d'élasticité une fois dépassée par quelque cause que ce soit, il manquerait plutôt que le fer forgé. Comme compromis entre l'acier supérieur et le fer forgé, il a cet avantage : qu'une petite augmentation du poids de la matière entraînera une grande augmentation de pression, dans les limites de la sécurité.

469. Mais, d'après les expériences de M. Kirkaldy *, les aciers les plus bas ont un degré considé-

* Il est à regretter que M. Kirkaldy n'ait pas donné la limite de l'élasticité, en sorte que nous pouvons donner une figure comme celle de M. Mallet (fig. 160) (n° du 15 août, page 144), pour démontrer où l'élasticité finit et où la ductilité commence. S'il en était ainsi, le fer et l'acier prouveraient qu'ils font un travail beaucoup plus grand avant de rompre. Le résultat serait probablement légèrement favorable au fer, autant qu'il s'agit de la ductilité.

rable d'élasticité avant de se fracturer (tableau 66), et tant de tenacité que le travail fait en les dilatant pour les rompre dépasse celui qui est nécessaire pour rompre le meilleur fer forgé. Dans le tableau on compare à cet égard plusieurs des spécimens de fer et d'acier mentionnés par M. Kirkaldy. La moyenne de l'acier qui n'a pas reçu de traitement particulier est plus élevée que celle du fer.

470. M. Anderson conclut ce qui suit * des expériences sur l'acier Krupp :

« Cette matière est si molle qu'elle se laisse aplatir à un degré quelconque : en effet, la même remarque s'applique à la plupart des bonnes qualités d'acier qui sont en-dessous de 4,000 livres ; elles cèdent continuellement de plus en plus sous l'augmentation de la pression, et la structure de l'acier manifeste une aptitude extraordinaire à demeurer assemblée sans se craquer sur les bords, plus que toute autre espèce de matière. C'est une qualité qui est grandement en sa faveur, soit pour les canons, soit pour les plaques à cuirasse; et si l'on pouvait lui donner la propriété de résister à un choc soudain,

* Journal de l'institution royale du Service-Uni, août 1862.

comme l'effet d'une simple pression, il acquerrait une valeur immense.

471. On dira cependant que les plaques de

TABLEAU LXVI. — « Travail fait » en dilatant jusqu'à la rupture plusieurs des meilleurs spécimens de fer et d'acier,

D'après les expériences de M. Kirkaldy.

Noms des fabricants ou des forges.	Conditions et traitement.	Rupture. Extension.	Rupture. Effort.	Travail fait en liv. soulevées à 1 pied en étendant jusqu'à la rompre une barre de 1 pi. de long sur 1 po. carré.	
FER.					
Lowmoor	Barre.............	.249	60364	7315	
Farnley	Plaques...........	.1645	62544	5144	moyenne
Govan...........	Dito	.1379	55546	3830	5076
Bradley	Dito	.1571	58534	4098	
ACIER COULÉ.					
De Turton, outils..	Fortement chauffé et refroidi à l'huile.	.033	215400	3554	
De Jowitt Dito ..	Chaleur inf., refroidi dans le suif.....	.18	112750	10447	
Dito Dito ..	Ref. dans les cend ..	.07	121711	4260	
Dito Dito ..	Refroidi lentement..	.10	125978	6298	
Métal homogène de Shortridge et Howell	Fortement chauffé, refroidi lentement	.22	86166	9038	7056
Boulons d'acier de Krupp	Doux............	.1673	94838	7933	
Moss et Gamble ...	Plaques-doux	.1964	79937	7850	

cuirasses en acier ne résistent pas pratiquement au boulet aussi bien que celles en fer, et que le « travail produit » comme on le suppute dans ce tableau et dans ceux de M. Mallet, n'est pas une mesure exacte de l'effet d'un *coup soudain* (346).

A cela on peut répondre : 1° Les plaques d'acier sont certainement craquées et rompues à l'intérieur du point d'application par le boulet qui ne fait que meurtrir les plaques de fer en un seul endroit en les bossuant et s'y enfonçant. Mais ce n'est pas là une preuve qu'il y ait aucune différence dans le travail produit. La ténacité de l'acier est suffisante pour distribuer le coup — pour vaincre l'inertie des parties avoisinantes, — et sa dureté empêche qu'il se dépense beaucoup de puissance dans l'enfoncement local. Le fer cède beaucoup plus au point frappé, parce qu'il n'est pas assez dur pour résister à la pénétration, ni assez tenace pour vaincre l'inertie du métal avoisinant. Le dommage sur l'acier, néanmoins, si on le considère comme plaque à cuirasses, est de beaucoup le plus grand, parce que de cette façon il devient susceptible d'être dépouillé. Le fer, considéré comme plaque de cuirasse, n'a pas d'avarie maté-

rielle; quand il l'est, il n'est pas percé à jour.

2° Il n'est pas démontré que les plaques de cuirasse essayées aient eu le même rapport de tenacité et de ductilité que les spécimens d'acier et de fer essayés par M. Kirkaldy. On sait, au contraire, que les plaques de Bessemer et autres n'étaient pas assez travaillées. Les plaques d'acier puddlé de la Mersey ont manqué; mais le tableau 68 montre qu'elles ont beaucoup moins de ductilité que le fer.

3° La pression dans un canon ne s'exerce pas sur un seul point, mais sur toute la surface interne d'un cylindre.

4° Le coup d'un boulet est évidemment très-différent de celui d'un gaz parfaitement élastique plus léger que l'air.

5° L'extension actuelle de quelques-uns des spécimens d'acier était plus grande que celle de quelques-uns des spécimens de fer, pour ne pas parler de la plus grande résistance à cette extension. En sorte que la règle du travail produit peut s'appliquer également à l'acier et au fer.

472. M. Mallet, dans un de ses tableaux *, donne « Tr. valeur de l'unité de longueur et

* Sur la construction de l'artillerie. Tableau de la page 79.

de section » pour « l'acier coulé » d'Allemagne, doux comme étant de 103,500 livres et pour la barre de fer forgé (ductilité maximum) comme de 96,000.

On voit dans les tableaux 68 et 69 la ductilité de l'acier de MM. Naylor, Wicker et C[ie], et de l'acier inférieur comparé à l'acier supérieur.

L'extrême ductilité de l'acier inférieur de Bessemer a été démontrée par plusieurs spécimens dans la grande Exposition de 1862. L'*Engineer* de Londres * dit de l'un d'entre eux, — un rail, — qu'il a été tortillé en spirale comme un ruban et n'a pas montré une seule crevasse après ce traitement sévère. Toute idée de la propriété cassante de l'acier disparaît quand on réfléchit sur cet exemple. » La même autorité dit d'autres spécimens : » Il y a aussi quelques courbures de rails dont l'une mérite une remarque particulière. M. Ramsbottom, l'habile ingénieur des ouvrages du railvay à Crewe, avait enlevé cette pièce pendant qu'elle était couverte de gelée et l'avait placée sous le gros marteau à vapeur, quand elle résista aux coups nécessaires pour doubler les bouts l'un sur l'autre, sans montrer la plus pe-

* 2 mai, 1862.

tite indication de rupture. * * * Il y a aussi quelques exemples extraordinaires de la propriété coriace de l'acier Bessemer, fondu avec des gueuses de fer au coke anglais, parmi lesquelles on peut compter des vases profonds de un pied de diamètre avec des fonds plats et des côtés verticaux. Au bord du haut, l'un d'eux a $^5/_8$ po. d'épaisseur et l'autre $^7/_8$. * * * Une barre carrée de 4 pouces a été tellement tordue étant chaude, que ses angles ont été rapprochés à moins d'un $^1/_2$ po. l'un de l'autre, en sorte que ce qui avait à l'origine une surface longue de 1 pied, a maintenant 18 pieds, tandis que la portion centrale de la barre conserve encore sa longueur originelle de 1 pied *.

473. CERCLES D'ACIER. — L'élasticité est une qualité indispensable dans les cercles, particulièrement quand le baril ou tube interne est en fer coulé ou bien en métal très-peu ductile.

* L'auteur est convaincu, pour l'avoir vu et mesuré lui-même, que les spécimens sont décrits correctement, quoiqu'il ne les ait pas vu mettre sous ces formes. D'après des épreuves qu'il a vues et faites, toutefois, aux forges de M. Bessemer, à Sheffield, il ne pense pas que l'excellence de l'acier ait été surfaite par l'éditeur de l'*Engineer*.

Si les cercles changent leur figure d'une manière permanente, leur utilité est détruite au plus haut point. Avec les fortes charges nécessaires pour percer les meilleures cuirasses, le fer forgé est susceptible de manquer dans ce détail (445). Pour un allongement donné sans changement de figure permanente, l'acier supérieur exige « un travail produit » plus grand que tout autre métal (*fig.* 160). (N° du 15 août, page 144.)

Mais la substitution de l'acier très-inférieur au fer forgé implique un autre principe important. Le manque d'homogénéité,— les nombreuses couches d'impuretés et les places de faiblesse introduites dans le fer forgé, spécialement dans les grandes masses, tout le chemin parcouru depuis la boule puddlée jusqu'au canon fini, ont déjà été expliquées (413 à 416). Son grand défaut consiste dans sa soudure imparfaite, d'après le procédé actuel admis dans les fabriques. La faculté de fondre de l'acier inférieur, en masse de toute grandeur, fait disparaître complètement cette difficulté.

474. PRIX ; POIDS ; QUALITÉ. — Par les procédés actuels, excepté celui de Bessemer (486), quoique le nombre des opérations soit réduit, en coulant l'acier en grandes masses, son prix est un peu

supérieur à celui du fer forgé (tableau 71). Toutefois, la comparaison lui est favorable, si l'on considère sa force plus grande.

Les causes actuelles de la cherté de l'acier sont dues principalement à ce qu'il faut dépenser beaucoup d'argent pour faire fondre le métal. Il exige une température si élevée que le récipient pour l'acier inférieur ne résiste qu'à une ou deux coulées. La chauffe postérieure d'immenses lingots (un lingot de Krupp, lors de la grande exposition, avait 44 po. de diamètre et 8 pieds de long) demande du temps et de l'adresse. C'est une grande opération que de les tirer sous des marteaux ordinaires pour ne rien dire de ses effets pernicieux (419, 420). La préparation et le choix de la matière ajoutent beaucoup au prix de revient.

De plus, c'est une industrie dont quelques manufactures ont le monopole. Les qualités qui distinguent l'acier inférieur comportent un prix beaucoup plus hors de proportion avec celui de la production que celui du fer forgé. Quelques procédés sont secrets, d'autres sont protégés par des brevets; mais la principale difficulté provient de ce que très-peu d'établissements ont entrepris d'en fabriquer. Le remède à cet état de choses se développe de lui-

même, particulièrement en Angleterre. Plusieurs des grands établissements anglais ont adopté le procédé Bessemer. En Amérique, aujourd'hui, plusieurs maîtres de forge déclarent que ce procédé est un échec, et proposent de battre au puddlage et à l'empilage. En même temps, il y en a d'autres qui font tout ce qu'ils peuvent pour développer ce perfectionnement, et d'autres analogues (490), mais on ne les encourage guère. Il n'y a aucun doute, cependant, que dans peu d'années l'acier inférieur sera produit à très-bon marché partout. La grande augmentation dans l'emploi des aciers de Krupp et du prussien Bochum, de l'acier coulé de Naylor, Wickers et C[ie] qui est également bon, et de celui de Firth, Howell et autres fabricants anglais, et par-dessus tout, le succès étonnant et la diffusion du procédé Bessemer, en Angleterre, en France, en Prusse, en Belgique, en Suède et même jusque dans l'Inde; — tout ce qui s'est passé depuis trois ou quatre ans démontre qu'on a concentré sur ce sujet de grands talents et de grands capitaux, et qu'on en espère les résultats les plus favorables. Les procédés diffèrent certainement l'un de l'autre, mais cela même prouve qu'on est déterminé à trouver la bonne voie, et indique

la demande croissante d'un produit excellent.

On a déjà remarqué que l'avantage de l'acier sur le fer, dans sa forme la plus crue, consiste en ce que le nombre et la quantité de ses ingrédients sont mieux connus à chaque progrès que l'on fait dans son raffinage.

Alors, les perfectionnements augmentant dans le traitement de l'acier, sont une promesse que les articles manufacturés se sont de plus en plus diminués de prix. On emploiera des marteaux de 50 tonnes dans un établissement que l'on doit élever à Londres et dans un autre en Staffordshire, pour produire le métal Bessemer. MM. John Brown et C[ie], de Sheffield, ont dressé dernièrement un martinet de 40 tonnes et deux vases de 10 tonnes à conversion Bessemer pour la fabrique des canons d'acier ; et l'on dit que le martinet de 40 tonnes de M. Krupp aura un rival dans ses propres forges. Dans un des plus grands établissements, on doit substituer les presses hydrauliques aux marteaux ; et on met rapidement en usage d'autres machines pour forger de grandes masses. Le plus grand lingot en acier coulé qu'on ait jamais fait jusqu'en 1851, a été envoyé par M. Krupp à la grande exposition de cette année ; il pesait 4,500 livres. Un

de ces lingots de l'exposition de 1862 pesait 44,800 livres, environ 10 fois autant.

Cependant, il faut que le fer forgé soit puddlé et empilé. Les moyens de perfectionner et de diminuer le prix de la fabrication ne semblent pas susceptibles de grands développements par la suite.

Le secret de toute cette affaire consiste en ce que le nouveau traitement du fer est basé sur des lois chimiques. L'ancien traitement était une affaire de tradition, d'expériences, d'échecs, de divination. Le procédé Bessemer est un procédé chimique,— suggéré par l'étude des lois chimiques, conduit d'après des principes chimiques, et poursuivi, modifié et perfectionné d'après les résultats de l'analyse chimique. L'ancien procédé avait été suggéré par accident, il est susceptible de se désorganiser par des causes accidentelles et inattendues et a été amené au degré actuel de perfection qui peut-être est le dernier, après que des générations l'ont manié dans l'ombre. Au lieu de trouver tout d'abord la bonne voie et de la suivre, on a marché dans toutes les directions, ou bien on a persisté dans une voie mauvaise et ancienne. Il n'y a en vérité qu'une série de bévues dans toute son histoire, si nous en exceptons la marche de Henry Cort. Main-

tenant qu'on a des chances de s'arrêter dans une voie fâcheuse, nous pouvons espérer des progrès rapides.

475. Mais on dit que les nouveaux produits ne sont pas toujours uniformes et dignes de confiance. M. Anderson remarque : * « L'acier coulé est le plus dispendieux des métaux à canon, cependant, à cause de la bonne confection de son âme, s'il pouvait inspirer la même confiance que le fer forgé, et si en même temps on pouvait compter qu'il sera coriace jusqu'à un certain point, il serait parfait, en dépit de son prix. Mais l'incertitude de sa fabrication, telle qu'elle existe maintenant, aurait besoin de lui être complètement enlevée avant qu'on puisse le comparer, avec le fer forgé, comme instrument pour le service du canonnage, afin que les hommes puissent se tenir en assurance à ses côtés. Et comme on peut compter sur le fer forgé et que son prix est modéré, on ne sent aucun besoin particulier de faire en acier tout le corps du canon. »

On doit cependant à M. Anderson et au sujet en question, d'ajouter que dans les expériences les

* « Journal de l'Inst. roy. du Service-Uni, » août 1862.

plus récentes qu'il a faites à Woolwich, l'acier durci dans l'huile a complètement remplacé les glènes de fer forgé, notamment celles que l'on emploie à faire le baril interne des canons. En effet, M. Anderson admet dans la même lecture, en parlant du canon Krupp, de 8 po., essayé à Woolwich (138), qu'une « pareille masse d'acier homogène, après avoir été coulée en lingot, a fait flotter à sa surface toutes les impuretés; qu'alors, ayant été très-travaillée sous le marteau et après avoir été convenablement recuite, elle a une âme d'une grande perfection, complètement affranchie de tâches, de coutures ou de crevasses, supérieure à toute autre structure en fer forgé en glène ou massif. On a construit, avec de pareilles doublures en acier, des canons d'une beauté remarquable, dont le corps était en cercle de fer forgé, pour donner la force requise à l'acier de la doublure. Cette combinaison donne l'âme parfaite et le canon fort, mais on n'a pas encore fait une expérience suffisante pour me mettre en état d'assurer positivement que l'acier ne viendra pas à manquer quand on fera un tir longtemps prolongé. »

On a déjà exposé l'inconvénient de l'acier quand on l'emploie dans les canons, et le remède qu'il faut

y apporter (467 et 468). D'autres autorités * n'ont pas une si haute opinion de la confiance que mérite le fer forgé, et ne croient pas en particulier qu'il soit impossible d'en faire de meilleur. Par

* Dans la discussion relatée plus haut à l'Institution des Ingénieurs civils, « sur les défenses nationales, » 1861, après que sir William Armstrong et d'autres personnes se furent exprimées très-librement contre l'acier (qui est maintenant adopté dans les tubes internes de tous les nouveaux canons Armstrong, parce que le fer forgé a échoué, M. Bidder, président, disait :

« Sir William a exprimé un manque total de confiance pour le fer homogène. Le président n'a pu partager sa manière de voir, mais il ne pense pas, quant à présent, qu'il serait fondé à dire que le métal homogène n'ait jamais eu une épreuve brillante et qu'on l'ait trouvé en défaut. Il a reçu une lettre de M. Krupp, d'Essen, accompagné d'une communication du colonel Petiet, de la Commission d'artillerie en France, constatant que les résultats des expériences des canons de 12, construits en fer homogène, avaient complètement réussi. M. Krupp établissait qu'en Prusse, on avait fait des canons avec âme de 8 po., qui avaient résisté avantageusement à toutes les épreuves auxquelles on les avait soumis. On ne pouvait douter qu'en Angleterre il y avait eu quelque désappointement relativement à la fabrique des canons de gros calibre en métal homogène. Cela néanmoins pouvait très-bien s'attribuer au mode de fabrication. Les machines à forger les grosses masses de fer nécessaires pour canons n'étaient pas en état de remplir leur objet : et tant qu'on n'appliquerait pas des marteaux de trente ou quarante

conséquent, en règle générale, les vieux praticiens éviteront tant qu'ils pourront de se lancer dans les innovations. Les machines à vapeur, les steamers de guerre, les canons rayés, les navires cuirassés, ont tous eu à combattre pour se faire connaître et adopter. Mais quand même les hommes veulent adopter un progrès, ils ont droit de prendre des précautions extrêmes, et de s'effrayer trop facilement. S'ils déployaient pour perfectionner et développer l'acier la même énergie, par exemple, qu'ils ont montrée en tirant du fer forgé tout ce qu'il peut donner, on aurait moins droit de se plaindre. En outre, on ne peut pas attendre du premier coup un produit parfait d'une nouvelle usine, quelque bon que soit le nouveau principe sur lequel elle est établie.

476. FORCE. — (Voir tableaux 67, 68 et 69.) La force moyenne de l'acier inférieur, apprêté pour faire des canons, est de 90,000 livres, ou trois fois

tonnes, on n'aurait pas de motif sérieux de prononcer la condamnation du fer homogène comme matière d'artillerie; en effet, on n'avait pas droit de rejeter le fer homogène pour canons tant qu'on n'aurait pas atteint la même expérience, et qu'on n'aurait pas donné à ce métal la même attention que l'on avait accordée au mode particulier de sir William Armstrong, sous sa propre surintendance. »

TABLEAU LXVII. — Force de tension de l'acier inférieur Kirkaldy,

Noms des fabricants ou des forges.	Conditions.	Poids de rupture par po. car. de la surface originelle. Inférieur.	Supérieur.	Moyen.
	BARRES.			
Krupp, acier pour boulons..	roulées	86054	90208	92015
Shortridge et Cie, mét. homog.	roulées	82218	99570	90647
Dito Dito....	forgées .....,	84794	94752	89724
Cie de la Mersey, acier puddlé	forgées .....,	67065	75304	71486
Blochairn, Dito....	roulées	55006	57114	70168
Dito Dito....	forgées	42564	71501	65255
Dito Dito....	forgées	45931	70341	62769
	Plaques long. de 1 po. d'ép.			
Shortridge et Cie, ac. coulé.	3/16	85650	108900	96280
Nayler, Wickers et Cie, ac. c.	1/4	76772	87972	81719
Morse et Gambles, ac. coulé.	3/16 et 4/16	67977	81588	75594
Cie de la Mersey, ac. puddlé.	3/16 et 5/16	92676	108906	101450
Dito ac. dur...	1/4	95946	106110	102593
Dito ac. doux..	1/4	67184	86908	77046

celle du fer coulé à canon, et 50 pour cent plus

grande que celle du meilleur fer forgé. On trouvera dans le tableau 67 le résumé des résultats pour les aciers inférieurs.

La force de l'acier Krupp, d'après le rapport du ministre de la guerre en Prusse cité par M. Mallet, est de 107,516 à 117,212 livres. Dans la circulaire de M. Krupp (134, note), on le porte à 120,000 livres.

La force de l'acier inférieur et le plus doux de Bessemer est de 72,000 livres par pouce carré. Celle de l'acier pour outils le plus fin de Bessemer (refondu au creuset et tiré sous le marteau) est de 170,000 livres. Celle du métal moyen est de 90,000 livres. On dit que les plaques éprouvées à Woolwich ont supporté de 68,314 à 73,166 livres.

L'acier puddlé de la meilleure qualité de MM. Cornings et Winslow (Américains), donne une force moyenne de tension d'environ 90,000 livres. M. Kirkaldy a trouvé que l'acier supérieur durci à l'huile avait une tenacité de 215,400 livres.

477. Uniformité. — On argue avec raison, en un sens, du défaut d'uniformité de l'acier, quand certaines qualités que l'on suppose uniformes sont inférieures à cet égard à certains fers forgés. Mais condamner l'acier, comme quelques autorités le

font sérieusement, parce que sa force de tension se mesure entre 50,000 et 20,000 livres, est tout aussi absurde que celui qui voudrait condamner la charpente en bois parce que sa force de tension s'étend de 6,000 livres (dans le cyprès), jusqu'à 23,000 livres (dans le bois à lance). Il est certain que les causes de progrès qu'on a déjà présentées, — des procédés en harmonie avec les lois de la chimie au lieu de tâtonner parmi les traditions et les expédients, susceptibles en tout temps d'être confondus par un accident, — produiront aussi l'uniformité du produit. Mais, selon les dernières expériences de M. Kirkaldy *, l'acier soutient très-favorablement la comparaison avec le fer, sous le rapport de l'uniformité de force et du maximum d'allongement. Le tableau 68 est une compilation de ceux de M. Kirkaldy.

478. Forme. — Ce que l'on a dit sous ce titre, du fer forgé (409), s'applique aussi à l'acier.

479. Trempe. — On a trouvé que la pesanteur spécifique de l'acier agissait d'une manière toute matérielle sur les qualités que nous avons examinées; la tenacité, l'élasticité et la ductilité. On peut

* « Expériences sur le fer forgé et l'acier, » 1862.

TABLEAU LXVIII. — **Comparaison entre l'uniformité et l'extensibilité du fer forgé et de l'acier.**

Noms des fabricants ou des mines.	Description.	Poids de rupture par po. car. de la surface originelle. Supérieur.	Poids de rupture par po. car. de la surface originelle. Inférieur.	Pour cent de l'allongement avant la fracture. Supérieur.	Pour cent de l'allongement avant la fracture. Inférieur.
BARRES DE FER.					
Low-Mor.............	Roulé 1 po. car.	62635	58228	24.9	20.5
Bowling.............	Roulé 1 po. car.	65701	58687	26.0	24.4
J. Bradley et Cie.......	Roulé 1 po. et 3/8 po. rond.	63604	54575	30.2	22.2
Govan en B, le meilleur	Roulé 3/4 à 1/8 po. rond	59820	53266	23.8	17.3
Farmley.............	Plaques en long.	62544	51541	14.5	10.85
Dundyvan, ordinaire...	Barres.	62429	45611	11.1	6.3
Grosses forges.........	Plaq. à cuirasses et arb. de couche.	44561	32528	20.5	6.4
ACIER.					
Turton et Jowitt (de) ac. coulé pour outils....	Barres.	148229	112224	7.1	5.2
Krupp, acier pour boulons, et Howell, mét. homogène.........	Barres.	99570	82218	18.0	11.9
Blochairn, puddlé.....	Barres roulées et forgées.	75114	45931	11.3	9.1
Turton (de), acier coulé.	Plaques en long.	95360	92858	*9.64	5.71
Naylor, Wickers et Cie, acier coulé.........	Dito.	87972	81588	17.32	17.50
Moss et Gamble, ac. coul.	Dito.	81588	67977	19.82	19.64
Shortridge, Howell et Cie, métal homogène....	Dito.	108900	85650	8.93	8.61
Shortridge Howell et Cie, métal homogène....	Chauffe élevée, refroidissem. lent	82166	....	22.00	...
				Moyen.	
Mersey, puddlé, plaq. de navires............	Chauffe élevée, refroidissem. lent	108906	92676	2.79	
Mersey, puddlé, dur....	....	106110	95946	4.86	
Mersey, puddlé, doux.	Chauffe élevée, refroidissem. lent	86908	67184	6.16	
Blochairn, Dito..	....	106394	93327	3.00	

* Moyenne, en travers et en long.

TABLEAU LXIX. — Montrant qu'en diminuant la pesanteur spécifique de l'acier on augmente sa tenacité maximum et on diminue sa ductilité.

(Compilation d'après les expériences de T. E. Wickers, Esquire.)

NOTE. — La pièce d'acier ayant la forme d'un essieu de 3 $^{15}/_{16}$ po. de diamètre, était étendue sur des supports séparés de 3 pieds, et soumis au coup d'un marteau pesant 1547 livres, qui tombait de 1, 2, 3, 4, 5, 7 $^{1}/_{2}$, 10, 12 $^{1}/_{2}$, 15, 20, 25, 30 et 36 pieds au 13e coup, et de 36 pieds les coups restants. La barre soumise à l'épreuve de tension avait 14 po. de long et 1 $^{1}/_{32}$ po. de diamètre.

Pesanteur spécifique.	Nombre de coups supportés.	Inflexion totale sous les coups.	Allongement avant la rupture.	Tenacité maximum par po. carré.
		pouces.	pouces.	tonnes.
7.871	17	58 $^{15}/_{16}$	1 $^{5}/_{8}$	30 $^{3}/_{8}$
7.867	18	56 $^{1}/_{16}$	1 $^{3}/_{8}$	34
7.856	18	53 $^{9}/_{16}$	1 $^{3}/_{4}$	37 $^{1}/_{2}$
7.855	15	35 $^{1}/_{16}$	1 $^{1}/_{8}$	42 $^{1}/_{2}$
7.852	16	38 $^{13}/_{16}$	1 $^{3}/_{8}$	41 $^{1}/_{2}$
7.848*	18	46	1	45
7.847	16	40 $^{5}/_{16}$	1 $^{11}/_{16}$	45 $^{1}/_{2}$
7.840	10	6 $^{9}/_{16}$	1 $^{1}/_{8}$	55
7.836	8	4 $^{5}/_{16}$	1	60
7.823	10	6 $^{15}/_{16}$	$^{5}/_{8}$	69

* C'est la trempe qu'on considère comme convenable pour les canons.

constater son action en général de la manière suivante :

1° L'acier supérieur a une pesanteur spécifique inférieure.

2° L'acier inférieur a une pesanteur spécifique supérieure.

3° En diminuant la pesanteur spécifique on augmente la tenacité.

4° La diminution dans la pesanteur spécifique augmente la capacité de l'allongement dans es limites de l'élasticité.

5° La diminution de la pesanteur spécifique diminue la faculté de l'allongement entre la limite de l'élasticité et le point de rupture.

Les 1re, 2e, 3e et 5e propositions sont prouvées par les expériences de M. T.-E. Wickers (de la Cie Naylor Wickers de Sheffield). L'acier doux (tableau 69) qui a résisté à 17 coups de choc, et qui a fléchi de 58 $^{13}/_{16}$ po., n'a supporté qu'une tension de 30 $^{1}/_{2}$ tonnes par la poussée, et avait une pesanteur spécifique de 7,871. L'acier supérieur dur, qui n'a résisté qu'à dix coups et ne s'est infléchi que de 6 $^{15}/_{16}$ po., a supporté une poussée de tension de 69 tonnes, et avait une pesanteur spécifique de 7,823.

Le tableau 70, compilé d'après les expériences de M. Kirkaldy, montre le gain remarquable de la ténacité maximum, quand on a diminué la pesanteur spécifique de l'acier d'une autre façon en le faisant durcir dans l'huile *. En même temps, le « travail

TABLEAU LXX. — Montrant les effets du traitement de l'acier.

	Noms du fabricant ou de la forge.	Comment il a été traité.	Poids de rupture par pouce carré.	Allongement pour cent.
1 barre.	Acier coulé de Jowitt, pour burins.	Chauffe élevée et refroidi à l'huile.	215400	3.3
	Acier coulé de Jowitt, pour burins.	Chauffe élevée, refroidi à l'eau.	90094	0.0
	Acier coulé de Jowitt, pour burins.	Chauffe élevée, refroidi lentement dans les cendres.	121716	7.0
1 barre.	Acier de Bessemer, pour outils.	Chauffé et refroidi dans l'huile.	111072	0.4
	Acier de Bessemer, pour outils.	Chauffé et refroidi lentement.	123465	5.[illegible]
1 barre.	Métal homogène de Shortridge et Howell.	Forte chauffe, refroidi à l'huile.	130237	2.5
	Métal homogène de Shortridge et Howell.	Forte chauffe, refroidi dans l'eau.	66953	0.0
	Métal homogène de Shortridge et Howell.	Forte chauffe, refroidi lentement.	82166	22.0

* On a décrit (35) le procédé pour durcir l'acier tel qu'on le pratique à Woolwich.

Voici l'instruction provisoire de M. George W. Rendel

produit ; en dépassant cette tenacité est inférieur à celui du même acier refroidi lentement, parce que son allongement avant la rupture est ainsi beaucoup moindre.

Aucune de ces expériences n'a déterminé la quantité de l'allongement dans les limites de l'élasticité,

(membre de la Cie d'artillerie d'Elswick), qui décrit d'une manière suffisante le procédé le plus simple, à la date du 13 novembre 1863.

« Moi, George Wightwick Rendel, ingénieur civil à Newcastle-sur-Tyne, comté de Northumberland, déclare par la présente que la nature de l'invention dite « Méthode perfectionnée pour renforcer et durcir le canon, fait entièrement ou en partie de fer carbonisé ou d'acier, ou les barils, ou autres parties qui s'y trouvent, est comme suit :

« J'amène le canon ou les parties du canon à une chaleur convenable dans un four, ou tout autre fourneau convenable, et alors je les plonge dans un bain d'huile ou de tout autre liquide ; ou, au lieu de plonger le canon ou les parties du canon, je verse le liquide sur eux, et pour abaisser la température du liquide qui s'est élevée dans l'acte de refroidissement du canon ou de ses parties, j'emploie des conduits qui traversent le liquide, et j'y fais circuler un courant d'eau froide, autrement on peut refroidir le liquide par tout autre arrangement convenable ; mais les dispositions pour refroidir ne sont pas essentielles au procédé pour renforcer, elles ne sont qu'un sujet de convenance ayant pour effet de diminuer le volume de liquide nécessaire pour refroidir de grandes masses de métal. »

ni le « travail produit » pour l'atteindre. Mais nous savons par expérience et d'après la pratique générale que plus l'acier est supérieur, plus il s'allonge avec sécurité, et plus il faut de puissance pour produire cet allongement.

Quand on durcit l'acier dans l'eau ou dans l'huile, ou par le martelage à froid, on diminue sa pesanteur spécifique en combinant chimiquement le carbone libre, et en fixant ainsi les cristaux d'acier dans leur état d'expansion. On augmente la pesanteur spécifique de l'acier dans la recuite; une partie du carbone se dégage et les cristaux peuvent prendre la forme la plus serrée et la plus naturelle.

On peut déterminer en général d'après ces principes la trempe d'acier qui convient pour les canons, quoique des expériences et des analyses plus soignées et plus étendues auraient la plus grande importance, et pourraient être entreprises par les gouvernements si elles ne le sont pas par les fabricants d'acier et de canons, dans le but d'éviter l'incertitude et des pertes partielles à l'occasion.

480. Résistance à la compression et à l'usure. — La supériorité de l'acier, sous le rapport de la dureté, est trop évidente pour avoir besoin de com-

mentaire. M. Anderson et les autorités en général déclarent que les aciers inférieurs eux-mêmes sont tout à fait satisfaisants. En considérant le frottement des projectiles rayés et l'énorme pression à laquelle les canons modernes ont besoin de résister, c'est une qualité essentielle au dernier point. La pénétration permanente des canons Armstrong et autres en fer forgé, par la pression du gaz de la poudre, est admise par sir William Armstrong et M. Anderson (402, tableau 71 et 72.)

TABLEAU LXXI. — **Dureté des métaux à canons.**

***Major Wade*, 1856.**

MÉTAL.		DURETÉ.
Fer coulé	La plus petite	4.57
	La plus grande	33.64
Fer forgé	La plus petite	10.45
	La plus grande	12.14
Bronze	La plus petite	4.57
	La plus grande	5.94

TABLEAU LXXII. — **Diverses qualités de métal à canons.**

(*Compilé d'après les tableaux de M. Mallet. — « Construction de l'Artillerie. »*)

MÉTAL.	Ténacité maximum.	Dureté relative.	Résistance relative à l'érosion.	Te. — Valeur en dynam. pour une long. et une section uni.	Tr. — Valeur pour une long. et une section uni.
Bronze moyen	32704	5 (?)	10.5	3.308	93.525
Fer coulé................	19341	10 (?)	39.4	5.997	12.287
Fer forgé, ductil. maximum	64323	20 (?)	322.6	7.660	96.000
Acier doux, allemand.....	110393	40	968.4	16.988	103.500

481. Sous un autre rapport, l'acier a un grand avantage sur le fer forgé. On trouvera qu'une pièce d'acier fondu présente une surface unie après avoir été immergée pendant un temps dans un acide. Une pellicule mince faisant une épaisseur égale aurait été dissoute. Mais une pièce de fer puddlé, traitée de la même façon, serait mangée en sillons irréguliers.

Le fer étant d'une pureté plus grande est plus corrodé par le gaz de la poudre à canon, et est par conséquent affouillé, ce qui fait qu'il s'use plus

rapidement par le projectile, outre qu'il augmente son frottement et l'effort du canon.

402. EFFORTS SUR UN TUBE HOMOGÈNE. — Un canon massif d'acier ou tout autre tube massif, dans l'état où ils se trouvent après avoir été forgés ou recuits, sont privés pour des causes différentes d'un élément de force possédé par les canons bâtis de plusieurs morceaux, — l'augmentation de tension, ou la diminution d'élasticité de leurs couches externes (287,320). Mais ce défaut devient moins sérieux à mesure que la ténacité de la matière augmente (*fig.* 161); et M. Krupp admet qu'avec sa matière les canons d'assemblage perdent plus par la vibration qu'ils ne gagnent en résistance à la pression interne. D'autre part, Blakely, Whitworth, Anderson, etc., rendent les canons d'acier également forts en renforçant les tubes d'acier avec de l'acier meilleur marché, ou avec une matière meilleur marché que l'acier. Il y a aussi des plans différents pour mettre les couches dont un canon massif peut se supposer composé à l'état requis d'efforts ou d'élasticité initiale. Celui de MM. Thomas, E. Wickers * (MM. Naylor, Wickers

* Extrait du brevet du 11 décembre 1862 de T. E. Wickers. « Perfectionnements dans la construction de l'artille-

et Cie, Scheffield) est sur le point d'être essayé et promet les meilleurs résultats. La tension initiale obtenue sur le plan du capitaine Rodman, en coulant le canon creux et le refroidissant par l'intérieur,

rie. *** L'objet de mon invention est de refroidir le métal de telle façon que la portion de sa section qui est la plus rapprochée de l'intérieur de l'âme se contracte la première, les autres portions de la section étant mises en mesure de se refroidir sur elle, dans l'ordre de leurs distances respectives à l'axe de la pièce.

En appliquant mon invention, je roule d'abord, je martèle ou autrement je forme un bloc massif d'acier ou de fer, ou tout autre métal, ou alliage convenable, de la forme requise, dans une manière qui convient, et alors je fore le bloc solide d'acier, de fer ou d'autre métal ou alliage convenable, à environ la dimension requise pour le calibre de la pièce. Quand il est foré, le bloc d'acier, de fer ou autre métal ou alliage, doit être soumis à la chauffe d'un fourneau pour le chauffer à nouveau ou le recuire, et quand il a été amené à la chaleur suffisante pour répandre les cristaux dans la masse, et tandis que le bloc de métal est encore dans le fourneau, j'introduis dans la portion creuse du canon un courant ou jet d'eau qui est continué jusqu'à ce que le canon soit entièrement refroidi. Je ne me borne pas cependant à l'usage de l'eau seule, mais j'emploie d'autres fluides ou l'air, ou toute autre matière qui est capable de traverser l'âme du canon et qui possède une température suffisamment basse pour refroidir le métal.

« Je soumets aussi au procédé ci-dessus de rechauffe ou de refroidissement, à partir du centre, les canons qui ont été

serait détruite évidemment par le procédé de la recuite, qui devrait toujours suivre la coulée ou le forgeage d'un canon d'acier (voir tableau 70).

483. Méthodes pour produire l'acier. — ACIER PUDDLÉ. — Comme ce produit est fait dans le fourneau à puddler, en modifiant le procédé du puddlage, et comme on agrége de grosses masses solides rien que par l'empilage et la soudure, le grand défaut du fer forgé, — le manque d'homogénéité, — n'est pas évité. Il est cependant une matière beaucoup plus forte que le fer forgé. La force de tension du meilleur acier est en moyenne de 90,000 livres, par pouce carré, et celle du meilleur fer, 60,000 livres environ. On le produit maintenant chez MM. Cornings et Winslow, à Troy, N. Y., et aux œuvres en fer de la Mersey, à Liverpool, en petites masses d'une qualité très-uniforme, surtout quand il est inférieur ou doux.

coulés en acier dans un moule fait de matières à l'épreuve du feu, et avec un noyau creux ***.

« Le trait essentiellement nouveau de l'invention actuelle, pour le distinguer de celle qui refroidit le métal fondu par l'intérieur du bloc, telle qu'on la pratique actuellement, consiste à forer et à réchauffer par l'intérieur les blocs de métal à canons, faits ou en les coulant, ou en les roulant, ou en les forgeant, ou à réchauffer et à refroidir par l'intérieur, les blocs de canon que l'on a faits avec un noyau creux. »

Mais il a beaucoup moins de ductilité que les aciers inférieurs fondus (tableau 68).

On peut décrire en général de la manière suivante le procédé pour faire l'acier puddlé : Le fer coulé contient de 3 à 5 pour cent de carbone; l'acier ordinaire en contient de $^3/_4$ à un pour cent, tandis que le fer forgé n'en renferme qu'une trace. En changeant le fer coulé en fer forgé dans un fourneau à puddler, le métal en gueuse traverse l'état d'acier, — c'est-à-dire qu'il est acier avant de devenir fer forgé. A présent, pour faire de l'acier puddlé, il faut simplement arrêter le procédé de puddlage ordinaire juste au moment où la masse qui se décarbonise sous le traitement est en état d'acier. On a breveté plusieurs modifications dans les fourneaux et dans les procédés. Ordinairement, on emploie une chaleur plus forte que celle nécessaire pour faire le fer dans ce qu'on appelle un fourneau à bouillir. Plusieurs manufacturiers emploient divers fondants d'une manière différente, particulièrement le manganèse.

484. ACIER INFÉRIEUR DE CREUSET OU MÉTAL HOMOGÈNE. — * Dans ses traits généraux, le procédé pour

* Le dernier nom a été introduit le premier parce que les

faire l'acier coulé inférieur est le même que celui qu'on emploie pour faire l'acier coulé ordinaire. L'objet principal est d'obtenir, comme le nom l'indique, un fer homogène, ce qui ne peut se faire qu'en le coulant. Le fer forgé est brisé en petits morceaux et mis dans les récipients avec 5 ou 6 onces de charbon de bois par chaque 40 livres de métal**. Le grand secret de la fabrication consiste dans le choix et le mélange des fers, et dans la manière de verser des lingots bien conditionnés. On fait de grandes coulées en vidant un nombre suffisant de creusets de 50 livres dans une immense cuillère placée au-dessus du moule ; la cuillère est alors ouverte par le fond. Les coulées les plus grandes (7 tonnes) et les meilleures que l'on fasse en Angleterre par ce procédé sont produits par MM. Naylor, Wickers et Cie. Dans leurs nouvelles forges, qu'ils construisent actuellement, ils seront en état de couler des lingots du poids de 15 tonnes. Ces lingots seront forgés à la presse hydraulique et au martinet.

On a déjà décrit le traitement des lingots massifs et creux (62, 68, 69).

consommateurs ne croyaient en aucune façon que celui d'acier pût aller à des canons ou à de grandes masses.

** London, *Engineer*, 2 mai 1862.

485. Acier de Krupp. — Ce métal renommé se produit aussi en modifiant le procédé ordinaire pour faire l'acier fondu. Il est bien compris qu'on brise une qualité supérieure d'acier puddlé, et qu'on choisit les pièces d'une fracture analogue pour les fondre. Quatre cents creusets d'argile, contenant 100 livres prussiennes chaque, sont nécessaires pour faire une coulée de 20 tonnes *. M. Krupp a adopté récemment le procédé Bessemer, — mais dans quelle proportion emploie-t-il le métal de Bessemer pour les canons, c'est ce que le public ne sait pas. On a insinué qu'il emploie dans la seconde fusion de l'acier rompu au lieu de l'acier puddlé. Si l'on fait attention à la qualité du métal Bessemer qui se trouve produit le premier, précisément avec l'habile traitement de M. Krupp, ce second procédé serait à peine nécessaire.

On sait que le fer au manganèse du pays (spiegeleisen), ressemblant au franklinite de New-Jersey, a une valeur particulière. Une grande habileté pour fondre et verser le métal, et particulièrement pour chauffer de semblables masses jusqu'au centre

* Practical Mechanic's Journal; Souvenirs de la grande exposition.

sans les brûler à l'intérieur, et les lourds marteaux qui condensent la matière jusqu'au noyau, sont des traits d'une importance évidente. C'est surtout à cette habileté et à l'usage convenable que l'on fait du manganèse qu'il faut imputer le succès de la fabrication.

Tant qu'on emploiera les creusets on ne pourra produire le métal à bon marché. L'adoption de l'invention de M. Bessemer indiquerait néanmoins que le procédé sera changé graduellement. Parmi les spécimens de l'acier Krupp, à l'exposition de 1862, on remarquait les suivants :

Un canon de 9 po. pesant 18,000 livres, fini, forgé avec un seul lingot pesant 50,000 livres; un arbre de couche de 15 pieds de long et de 24 po. de diamètre, pesant 15 ½ tonnes (34,720 livres) forgé sur un lingot de 25 tonnes; un arbre de couche d'hélice à double manivelle, mesurant 24 pieds de long et 15 pouces de diamètre, pesant 11 tonnes (24,640 livres); et une hélice de 9 pieds de diamètre, pesant seulement 800 livres. Une pièce de forge pesant 15 tonnes, et ayant 30 pouces de largeur et 17 pouces d'épaisseur a été brisée en quatre endroits pour faire voir sa qualité. Un lingot carré de 8 pieds de long et pesant environ 8 tonnes

a été forgé à un bout et brisé dans le sens de la longueur pour montrer les fractions différentes du métal forgé et du métal coulé. Un lingot long de 8 pieds mesurant 44 pouces de diamètre et pesant 20 tonnes (44,800 liv.) a été tranché par le milieu et brisé sous le marteau de 40 tonnes, présentant juste à l'endroit où il était coulé, sans avoir subi l'action du martinet, une surface de plus de 15 po. carrés, d'une fracture homogène, uniforme et à grain fin; sans couture ou crevasse. Il est à propos de dire ici que plus de 4,000 bandes de roues de cette matière étaient à cette époque en service sur tous les chemins de fer du monde. Quelques-unes ont fait plus de 90,000 milles sans avoir besoin d'être tournées. L'une des bandes exhibées avait parcouru 67,000 milles sur les chemins de fer des comtés de l'Est sans être tournée. Elle s'était usée également environ $^1/_4$ de pouce sur toute la circonférence. On a déjà mentionné dans quelles limites les canons de M. Krupp ont été employés et les épreuves sévères que quelques-uns ont subies (135).

On fait de l'acier pareil aux forges Bochum, en Prusse.

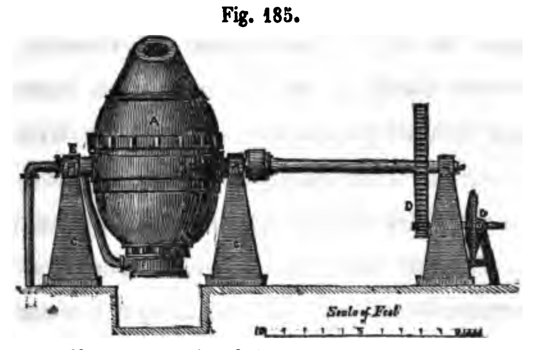
486. ACIER BESSEMER *. — Le grand avantage

* La description suivante du procédé Bessemer est extraite

du procédé Bessemer consiste à produire l'acier directement avec le minerai ou les gueuses de fer, en masses de toute grandeur, à peu près au prix du fer forgé.

Le « vase à conversion » (*fig.* 185), quand il est

Fig. 185.



Vase à conversion de Bessemer, vu de face.

assez grand pour convertir 5 tonnes par chauffe, a environ 11 pieds de haut et 7 pieds de diamètre. Il est fait de plaques de tôle et doublé d'une pierre siliceuse, appelée « ganister. » Au fond du vase il y a environ 50 petites tuyères, qui communiquent à travers les tourillons avec un soufflet. La plupart des établissements où ce procédé est employé ne sont pas pourvus de fourneaux à fondre ; en sorte

du Practical Mechanic's Journal. Souvenir de la grande Exposition de 1862.

que la gueuse est fondue pour la conversion dans un fourneau à reverbère, au lieu d'un four à dôme, afin d'éviter le contact avec le soufre qui peut se trouver dans le charbon. Le fer originel doit être dégagé de soufre autant que possible et spécialement de phosphore.

Quand le vase à conversion est chauffé, on y met le fer fondu et on dirige sur lui le vent du soufflet à une pression d'environ 14 livres par pouce carré. L'oxygène ainsi forcé s'unit d'abord avec le silicium dans le fer, formant un acide silicique. Comme cet acide brûle, et que la chaleur est augmentée, l'oxygène commence à s'unir avec le carbone dans le fer, ce qui augmente bientôt la chaleur et le degré de la combustion jusqu'à ce que la masse s'élève à un état écumeux, présentant une grande surface au contact de l'air; alors la combustion devient extrêmement intense, produisant une série d'explosions sans danger, et projette au dehors la scorie liquide du métal et une colonne de flamme blanche. En Suède et dans quelques-uns des établissements anglais, le procédé s'arrête là, — la décarbonisation requise étant déterminée par le temps de sa durée. A Sheffield, on la continue d'ordinaire jusqu'à ce

que la flamme s'abatte d'une manière soudaine, ce qui fait reconnaître que le fer est tout à fait décarbonisé; après quoi une petite quantité de fer en gueuse d'une qualité connue, déjà fondue dans un autre compartiment du fourneau à reverbère, est mise dans le vase à conversion. Quelques secondes après on suspend le coup de feu; tout le procédé dure de 15 à 20 minutes.

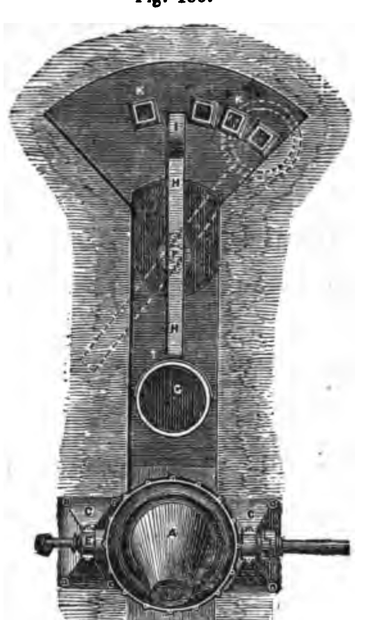
Alors on fait tourner le vase sur les tourillons, en sorte que le métal se répande dans la cuiller G (*fig.* 186), sur le levier H qui est élevé, abaissé et que l'on fait tourner autour du cylindre hydraulique P.

En retirant un tampon d'argile à feu qui se trouve au fond de la cuiller, on remplit les divers moules (K) à fer coulé qui sont autour. Quand on veut avoir un gros lingot, on vide plusieurs vases à conversion dans un seul moule.

Tout le silicium n'est pas brûlé et expulsé. Il en faut de 5 à 6 onces par tonne dans tous les aciers pour garantir la solidité d'une coulée. Pendant que le carbone et le silicium s'unissent avec l'oxygène, il s'unit aussi avec lui un peu de fer; mais il est absolument perdu, quoique ce soit un produit de peu de valeur. Quand on forge le fer

anglais en petites quantités, on en perd ainsi de 14 à 18 pour cent; avec les fers suédois les plus purs, écoulés du fourneau à soufflet, on dit que la perte n'est que de 8 $^3/_4$ pour cent.

Fig. 186.



Projection de l'appareil à conversion de Bessemer.

Après que les lingots ont été chauffés environ 15 minutes, pour amollir l'extérieur, qui a été transi par le moule, l'intérieur étant encore pâteux, on leur donne la forme de canon ou toute autre sous le martinet. Cet acier n'éclate pas en morceaux comme quelques autres aciers coulés sous ce traitement. Il est certain que le lingot est chauffé à fond dans son intérieur, — trait tout à fait distinctif — et qu'on épargne beaucoup de combustible.

487. Parmi les spécimens du métal Bessemer,

à l'exposition de 1862, il y avait un lingot octogonal, brisé par un bout et tourné à l'autre bout pour faire voir que le métal était tout à fait plein. Le bout tourné paraissait comme l'acier forgé. Un lingot de 18 pouces, pesant 3,136 livres, était le 6410me « d'acier du premier jet, » fait aux forges de MM. Henri Bessemer et Cie. On avait aussi exposé un rail à deux têtes de 40 pieds de long. Un canon de 24 et un canon de 32; un arbre de couche pour machine de 250 chevaux, et plusieurs bandes de roues sans soudures. Il a été question (472) des spécimens qui montrent la ductilité étonnante du métal.

Après avoir surmonté les premières difficultés, le procédé Bessemer a été adopté avec un grand succès, et par tant de chefs d'usines en Angleterre, en France, en Suède, en Belgique et autres États européens qu'on regarde comme une chose certaine qu'il remplacera tous les autres procédés pour faire ou le fer forgé fin, ou l'acier inférieur à bon marché. Dans un établissement de Sheffield, — les forges Atlas de MM. John Brown et Cie, deux vases de 3 tonnes ont été à l'œuvre pendant plus de deux ans, et on achève maintenant une paire de vases de 10 tonnes qui élèvera le produit

total du métal Bessemer, dans ces forges seules, à plus de 400 tonnes par semaine.

MM. Winslow et Griswold, de Troy, New-York, sont en train de construire un appareil pour produire de l'acier Bessemer, sous la direction de M. Bessemer.

488. Acier Aboukoff. — L'acier que l'on fait maintenant pour canons dans plusieurs établissements en Russie *, d'après le système Aboukoff, est ainsi décrit dans le brevet :

Fer coulé blanc	540 livres
Minerai magnétique	108 »
Arsenic	1 »
	649 livres

* « Les forges de l'Oural, en Russie, produisent environ vingt canons (de plus de 6 po. de diam. dans l'âme) en acier coulé. M. Povteeloff, dans ses grandes forges de Finlande et dans ses petites forges de Pétersbourg, produit aussi très-rapidement des canons plus petits, et ce gentleman, associé avec le colonel Aboukoff et M. Kondraftzoff, ont une fabrique très-étendue près de Pétersbourg, presque prête à produire des canons massifs du plus fort calibre en acier, faits d'après le système Aboukoff. M. Povteeloff espère que cette fabrique commencera à travailler en novembre. Elle possède assez de fourneaux à creusets pour être en état de couler un bloc de 15 tonnes, et la puissance du marteau dont on a l'intention de se servir pour donner la forme à ces masses d'acier, est de

On décrit ainsi la manipulation dans les détails du brevet : fondez d'abord la gueuse dans le creuset, ajoutez-y le minerai magnétique (préalablement réduit à la grosseur d'un poids en l'écrasant) et ensuite l'arsenic. Si l'on désire perfectionner la qualité de l'acier on ajoute des petits morceaux de fer, et les proportions varient selon les besoins. On a fait ainsi l'acier dur : fer blanc, 14 livres; copeaux de fer, 18 livres; minerai magnétique, 3 livres; arsenic, une once. Acier doux : fer blanc, 10 livres; copeaux de fer, 22 livres; minerai magnétique, 3 livres; arsenic, une once.

35 tonnes; il a été commandé d'après celui de M. Morrison, de New-Castle; mais, par suite d'accidents dans la coulée, il ne sera livré qu'au printemps de 1864. Cependant le gouvernement donne à M. Povteeloff toute l'assistance possible pour son établissement de Colpino, afin qu'il soit en état de produire au 1er janvier prochain un marteau de 25 tonnes, sur le plan de celui de Nasymph, ce qui, avec un marteau de 15 tonnes venu d'Angleterre, les mettra en état de faire rapidement des canons de 9 po. Les forges sont sur une très-grande échelle, et calculées pour produire dans un an ou à peu près, dix gros canons par semaine ***.

« En juin 1864, le gouvernement russe aura englouti au moins un million et demi de livres sterling dans ce système, ou plutôt dans la qualité des canons d'acier, c'est-à-dire dans des canons d'acier fabriqués au pays. » Correspondance du *London Engineer*, 20 novembre 1863.

M. Povteeloff, aussi bien que le colonel Aboukoff, possède sans aucun doute quelque secret qu'il ne donne pas, car ces messieurs prétendent qu'ils peuvent couler une portion d'un bloc d'acier, et que dix heures après qu'ils ont versé la dernière goutte dans un moule, ils ont une masse parfaitement unie. Nos manufacturiers de Sheffield devraient peser cette allégation. L'acier produit est réellement très-bon ; mais il reste à voir * si l'on aura ou non l'uniformité qu'on réclame en le fabricant sur une aussi grande échelle.

489. On dit qu'en France, le gouvernement développe à grands frais une autre méthode pour produire l'acier à bon marché, savoir : dans un fourneau à reverbère, qui ressemble à un fourneau à puddler. Le fer forgé ou l'acier puddlé est protégé contre l'oxygène, le soufre et autres agents de destruction, par un plan ou un bain de fraisil ; et ainsi fondu, on le fait couler dans des moules sans avoir besoin de creusets et des procédés dispendieux ordinairement employés.

490. Acier coulé Américain. — On a déjà remarqué que MM. Winslow et Griswold, de Troy,

* Correspondance du *London Engineer*, 20 nov. 1863.

New-York, construisent des forges pour faire de l'acier Bessemer, sous la direction de M. Bessemer. D'autres fabricants, aux États-Unis, sont en train d'expérimenter divers procédés pour faire directement de l'acier avec le minerai, pour perfectionner et rendre en général sa fabrication meilleure marché. Beaucoup de ces derniers efforts ont été couronnés d'un tel succès qu'ils méritent plus qu'une note accidentelle; mais comme il n'en a pas encore été produit de grandes masses, et que les produits n'ont pas encore atteint de renom comme métaux à canons, il serait hors du plan de cet ouvrage d'y insister davantage.

Il faudrait remarquer cependant : — 1° Que le gouvernement et les vieux marchés établis pour les fers, à très-peu d'exceptions, n'ont pas encouragé à poursuivre ce perfectionnement, qui est garanti par des succès notoires en Europe, et par l'importance du sujet. 2° Que le minerai en franklinite du New-Jersey possède en abondance, et sous des combinaisons très-variées, les métaux mêmes — le manganèse et le zinc — d'où dépend en grande partie le succès des grands fabricants de l'Europe, Bessemer, Krupp et autres.

491. Systèmes de fabrication. — Pièces de forge

pleines. — Le grand avantage de l'acier consiste en ce qu'on peut en forger de très-grandes masses sans soudure, et qu'il peut rester homogène dans toutes ses parties. Et à quelqu'étendue qu'on puisse employer les cercles, le tube interne ou la pièce principale qui donne au canon la force longitudinale doit être une grosse et lourde masse de métal.

On a spécifié (413 à 421) les défauts sérieux du procédé par lequel on travaille le fer forgé en pièces massives. Ils existent avec une seule exception pour l'acier forgé. L'usage des marteaux légers causerait plus de préjudice à l'acier qu'au fer. Mais ce n'est pas la faute d'aucun de ces métaux. Pour faire de bonne besogne, il faut de toute nécessité avoir de bons outils.

Pour allonger au marteau un gros lingot, — par exemple, le lingot de Krupp de l'exposition qui avait 8 pieds de long et 44 pouces de diamètre, — il faut en premier lieu une chauffe uniforme dans toute la masse. Pour amollir le centre d'une pareille pièce coulée à travers 22 pouces de métal plein, sans brûler l'extérieur, il faut une température modérée, maintenue sans aucune interruption pendant plusieurs jours. *En second lieu*, il faut

que l'effet du marteau soit senti au centre de la masse au lieu d'être confiné à l'extérieur. La force vive d'un premier coup est absorbée en changeant la figure de la surface du métal. Et les coups précipités d'un marteau léger ne répondraient pas au but. Leur effet serait local parce que le métal environnant n'aurait pas le temps de le distribuer. Le grain du métal serait aussi rompu et aplati, juste comme un petit boulet de canon à grande vitesse déprime le métal en faisant son trou dans le côté d'un navire cuirassé, tandis qu'un boulet très-lourd et très-lent ébranle toute la structure et la pousse à l'intérieur. Un grand poids tombant d'une hauteur modérée rencontre la résistance de la masse entière de la pièce forgée qui est au-dessous et autour de la place où il frappe. C'est pour cette raison que M. Krupp emploie un marteau de 40 tonnes, que l'on dit avoir une chute de 12 pieds. Les défauts assurés des grosses pièces de forge, à cause de la légèreté du martelage, sont : 1° l'intérieur du métal n'est pas condensé ; 2° la partie intérieure de la pièce forgée est étendue, et ainsi tirée au large du centre de la masse, elle craque quelquefois et s'affaiblit toujours ; 3° l'intérieur d'un canon ainsi forgé demeure en tension, tandis que l'extérieur

est en compression, ce qui est l'opposé de l'effort qu'il devrait avoir.

492. PIÈCES FORGÉES EN CREUX. — La manière dont les enveloppes d'acier Naylor, Wickers et Cie sont forgées en creux pour les canons Blakely a été rapportée sur le dernier titre (22, 68 et 69).

M. Whitworth et son associé, M. Hulse, dans un brevet postérieur pour construire l'artillerie d'acier ou de métal homogène, décrivent ainsi leur méthode pour forger en creux. Ils coulent un lingot percé d'un trou et le martèlent ensuite entre un bloc d'enclume de forme anguleuse et une tête de marteau plat ou de même forme. Un mandrin de forme conique est inséré à travers du trou du lingot coulé, et l'opération du martelage ou de la forge continue jusqu'à ce que le mandrin devienne trop chaud par son contact avec le métal échauffé du lingot; on le retire alors et on met un mandrin froid à la place de celui qui a été échauffé, et on continue à marteler et à forger jusqu'à ce que la pièce ait la dimension et la forme voulues. Si on le préfère, on peut se servir d'un mandrin creux que l'on refroidit par l'intérieur. Le lingot tubulaire martelé est ensuite recuit. S'il est nécessaire, la

surface intérieure du lingot tubulaire peut être « convertie à la profondeur voulue. »

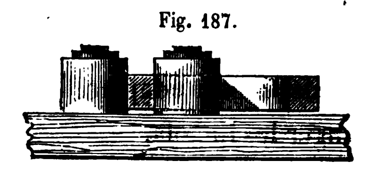
493. COMPRESSION PAR LA MACHINE HYDRAULIQUE. — On trouve cependant que les marteaux les plus lourds produisent une compression trop locale et trop extérieure, et trop peu distribuée à l'intérieur sur de grandes masses d'acier. Et les gros martinets ne conviennent pas, particulièrement, quand la pièce forgée a une forme irrégulière. Par conséquent les fabricants d'acier commencent à employer les presses hydrauliques pour allonger leurs lingots et leur donner la forme. Aux nouvelles forges de MM. Naylor, Wickers et Cie, qu'on construit actuellement à Sheffield, cette machine remplacera les gros martinets. M. Bessemer a aussi fait breveter quelques changements destinés à adapter l'appareil hydraulique à arranger les lingots.

Il est évident que la pression lente et uniforme de l'eau pompée par une petite ouverture dans un grand cylindre ne frappera pas de coups brusques, mais qu'elle donnera le temps à chaque partie de matière sur laquelle elle agit, quelque épaisse que soit la masse, de distribuer la pression sur la partie voisine. Dans le cas où les lingots seraient comprimés chauds en sortant du moule, et seraient par

conséquent plus mous en dedans qu'en dehors, le métal intérieur serait mieux travaillé et plus condensé que le métal extérieur.

494. ROULEMENT ET JOINTURE DES CERCLES. — Un autre avantage, peut-être aussi important que l'on retire de l'acier fondu, consiste dans le bon marché de la fabrication des cercles avec fibre sans fin. La machine que l'on emploie est une modification du laminoir ordinaire; les rouleaux sont courts, dépassant la hauteur des pièces à rouler, en sorte que l'on peut glisser un anneau par-dessus (*fig.* 187). On coule de la façon ordinaire un anneau ayant, par exemple, la moitié du diamètre et le double de l'épaisseur qu'il doit avoir quand il sera fini *. On le met entre les rouleaux et on l'étire en les rapprochant de plus en plus jusqu'à ce que son diamètre ait reçu l'augmentation requise, et qu'on ait développé une fibre continue dans la direction de la circonférence. MM. Naylor, Wickers et Cie

Fig. 187.



Machine à rouler les cercles.

* MM. Naylor, Wickers et Ce coulent ces lingots sur un noyau qui cède, et ont fait breveter leur procédé.

ont coulé un grand nombre de lingots de cette forme pour faire des bandes de roues et pour des canons Blakely et autres canons cerclés. Il n'y aurait aucune difficulté, — si le rouleau interne nécessairement petit ne se dérange pas trop, — à faire de cette façon des tubes de deux ou trois pieds de long. De longs rouleaux auraient besoin d'être soutenus aux deux bouts, mais l'un des deux pourrait avoir un bloc mobile pour s'appuyer à un bout, en sorte qu'un anneau pourrait être présenté et retiré promptement.

M. Krupp fait des anneaux avec une fibre sans fin, en forgeant un lingot dans la forme représentée par la (*fig.* 188) qui a deux trous à ses bouts, et que l'on réunit par une fente que l'on ouvre par l'extérieur. On le roule ensuite de la manière qui a été décrite *. Avec sa machine actuelle, il peut faire des cercles d'un diamètre quelconque, mais sans dépasser une largeur de six pouces.

Fig 184.



Méthode Krupp pour faire des anneaux massifs

Pour éviter la nécessité des martinets et des fourneaux immenses, et les expériences coûteuses qui peuvent seules mettre en état d'établir une fabri-

* Circulaire de M. Krupp. Grande exposition de 1862.

que de M. Krupp dans un autre pays, avec différentes matières et des ouvriers maladroits, M. Hitchcock, de New-York, propose le procédé qui a été déjà discuté et illustré (460), pour fabriquer des canons massifs avec des petites masses d'acier inférieur ou de fer forgé. Dans aucun cas le procédé de M. Hitchcock ne conviendrait à la fabrication des longs cercles faits avec des anneaux.

495. Canons d'acier coulé massif. — La bonne condition des fontes d'acier, particulièrement celles qui sont produites par MM. Naylor, Wickers et Cie, et la compagnie Bochum en Prusse, a déterminé le capitaine Blakely à construire des parties de quelques-uns de ses canons, telles qu'enveloppes extérieures embrassant les tubes internes, en lingots creux non forgés, mais seulement recuits, et l'opinion que la grosse artillerie sera faite en fonte d'acier massive gagne du terrain en Angleterre. Comme de pareils canons auraient environ trois fois la tenacité du fer coulé par pouce carré, leurs parois seraient beaucoup plus minces, en sorte que les défauts dus à un refroidissement inégal ne seraient pas très-sérieux (364). En outre, les avantages de la fonte creuse (373) et le refroidissement par l'intérieur pourraient s'obtenir aussi

bien dans l'acier que dans le fer. D'un autre côté, on conteste que le gain de force soit l'équivalent de la dépense occasionnée par le martelage de l'acier.

On ne peut forger qu'à un grand prix les envelop-pes extérieures des canons d'assemblage, sur les-quelles il faut former ou assujettir les tourillons et le bouton de culasse, et qui devraient être massives au bout de la culasse pour assurer la force longitudi-nale. Et si on les coule en creux, elles ne pourraient qu'être si peu comprimées ou étirées par la forge, qu'on n'augmenterait que très-peu leur force par ce procédé. Par conséquent la simple manière de couler et de recuire ces parties, telle qu'elle a été adoptée par le capitaine Blakely, semblerait être un perfectionnement très-appréciable pour la fa-brication des canons.

On a déjà remarqué que les tubes pour presses hydrauliques, les bandes de roues de chemins de fer et autres, les essieux d'arbre de couche et les clo-ches de toute dimension sont coulés solides et ho-mogènes dans toutes leurs parties avec de l'acier inférieur, dans les deux établissements mention-nés plus haut. Ces fontes sont toujours recuites, ce qui augmente leur tenacité et leur pesanteur spé-cifique.

SECTION V. — BRONZE.

496. L'alliage d'environ 90 parties de cuivre sur 10 d'étain que l'on connaît communément en Europe sous le titre de « métal à canon » est appelé « brass » dans le langage vulgaire des Américains, quand ils l'emploient à l'usage des fonderies d'artillerie; leurs auteurs modernes l'appellent « bronze. » On appelle aussi « métal à canons, » en Amérique, la forte fonte de fer.

Si l'on se reporte au tableau 72, on observera que le « travail fait » en étendant le bronze jusqu'à la limite de son élasticité et au point de fracture est inférieur à celui du fer forgé ayant son maximum de ductilité, et à celui de l'acier inférieur. Ce défaut ajouté à la cherté du bronze*, aux divers embarras que l'on éprouve en en coulant de grandes masses, à sa mollesse, et par conséquent à son usure et à sa compression rapide, et aux avaries que lui occasionne l'échauffement, a empêché de l'employer dans les forts

* Le prix des pièces de campagne en bronze était d'environ 45 cents par livres, d'après « l'Ordnance and Gunnery » de Benton, 1862.

calibres et les grandes charges. L'augmentation de prix en proportion du poids serait probablement plus grande pour le bronze que pour le fer coulé, et beaucoup plus grande que pour l'acier fabriqué par le procédé Bessemer, ou le fer fabriqué par les procédés de Ame ou de Hitchcock, parce que le bronze a besoin d'être coulé sous une grande pression pour être solide et tenace. En sorte que, si c'était un métal convenable sous les autres rapports, un armement national en bronze paralyserait sans nécessité un immense capital. La haute valeur de l'ancien matériel ne dépasserait pas ce prix autant qu'il le fait dans le matériel du chemin de fer, pour des raisons évidentes.

La moyenne de la cohésion maximum du métal à canons, d'après les auteurs européens et les expériences faites par le gouvernement des États-Unis, est d'environ 33,000 livres par pouce carré. Dans un de ses tableaux M. Mallet la donne comme de 32,334 livres à 43,536 *. Le major Wade la fait varier de 17,698 à 56,786 livres **.

* Sur la Construction de l'artillerie (Mallet, 1856, p. 78).

** Rapport des expériences sur les métaux à canons, 1856.

Le capitaine Benton dit * que l'expérience a démontré que la densité et la tenacité du bronze coulé sous forme de canons dépendent de la pression et du mode de refroidissement. Cela est démontré par les observations que l'on a faites en coulant cinq canons à la fonderie de Chicopee, savoir :

DENSITÉ.			TENACITÉ PAR POUCE CARRÉ.	
Culasse carrée.	Tête du canon.	Canon fini.	Culasse carrée.	Culasse du canon.
8.765	8.444	8.740	46509	27415

« Les canons étaient coulés dans une position verticale, avec la culasse carrée au fond. Par suite de la différence de fusibilité de l'étain et du cuivre, la perfection de l'alliage dépend beaucoup de la nature du fourneau et du traitement du métal en fusion. Par ces moyens seuls, la tenacité du bronze a été portée jusqu'à 60,000 livres à la fonderie de l'arsenal maritime de Washington. »

* « Ordnance and Gunnery, » 1862.

La fabrication de l'artillerie de bronze paraît être beaucoup mieux entendue en Espagne et plus particulièrement en Turquie qu'en Amérique ou en Angleterre. On a coulé en Espagne quelques canons de bronze pesant 20 tonnes, mais on ne peut pas les tirer rapidement.

497. D'après les auteurs américains et anglais, le manque d'uniformité, même dans les parties différentes d'un même canon, est un défaut choquant. Par exemple, « dans les pièces légères, particulièrement dans les pièces de campagne, on peut employer le bronze. Mais il y a un grand nombre d'objections à faire à l'alliage en lui-même. Comme l'étain se fond beaucoup plus vite que le cuivre et qu'il faut l'introduire quand le premier est déjà en fusion, il est difficile de saisir le moment précis le plus favorable pour former l'alliage; une portion de l'étain est fréquemment brûlée et convertie en scorie *. »

Le major Wade, après avoir calculé les résultats des expériences sur un lot de canons de bronze coulés à Chicopee **, dit : « Le trait le plus

* « Ordnance and naval Gunnery, » Simpson, 1862.
** Report of Experiments on metals for cannon, 1856.

remarquable du tableau ci-dessus est le caractère irrégulier et hétérogène des résultats qu'il montre sur les échantillons que l'on a pris dans diverses parties du canon. *** En examinant les résultats obtenus sous le titre des canons coulés, on verra que la densité varie de 8.308 à 8.756, — différence égale à 28 livres par pied carré; et que la tenacité varie de 23.289 à 35.484, différence dans le rapport de 2 à 3. Ces différences se présentent dans des échantillons pris des mêmes parties de différentes coulées, à la tête du canon; la partie qui, dans le canon de fer, donne une mesure précise de la qualité du métal dans toutes les parties du canon. *** Les matières employées dans ces différentes coulées étaient de la même qualité; elles ont été fondues, coulées et refroidies de la même manière, et étaient destinées à être traitées de la même manière sous tous les rapports. On n'est pas encore sûr des canons qui ont produit des résultats aussi irréguliers et aussi inégaux, quand les matières employées et leurs traitements étaient les mêmes en apparence. « Parlant d'un autre lot d'obusiers en bronze fait à la fonderie de South Boston, le même auteur dit : « D'après un nouvel examen

des résultats obtenus sur les échantillons essayés, le trait le plus frappant consiste dans la grande diversité de la ductilité et de la force, ce à quoi on ne voit et on ne peut assigner aucune cause satisfaisante.

408. Les auteurs s'accordent généralement à attribuer la fusion de l'étain dans les canons de bronze à la chaleur qui résulte d'une suite d'explosions successives. S'il en est ainsi avec les canons de campagne, les fortes charges, les lourds projectiles et le tir rapide exigés dans les combats de navires cuirassés détruiraient bientôt cette matière. Le colonel Wilfort a assuré dans une réunion de l'Institution du Service Uni, * que les mortiers en fer ont été introduits parce que les trous de lumière étaient brûlés dans les chambres des mortiers de bronze par l'immense chaleur du gaz de la poudre. La chaleur occasionne aussi des affouillements dans les parties du bronze du canon qui surmontent les tourillons.

Quant à la décomposition, le capitaine Benton dit : ** Le bronze n'est que légèrement corrodé

* « Journal de l'Inst. du Service-Uni, » juin 1862.
** « Ordnance and Gunnery, » 1862.

par l'action des gaz développés par la poudre à canon ou par des causes atmosphériques; mais le capitaine Simpson remarque que les gaz produits par la combustion de la poudre produisent aussi un effet nuisible sur cette espèce de pièce, en agissant chimiquement sur le bronze.

499. L'usure et la compression sont dues à la mollesse du métal. La dureté du bronze comparée à celle du fer coulé et du fer forgé a été mise en tableaux par le major Wade. (Tableau 71) §.

Tous ces défauts du bronze pour l'âme des canons, abstraction faite de la force, — savoir, la fusion de l'étain, le changement de forme, la conversion, l'usure et la compression, — s'aggravent les uns par les autres; et quand on y joint les rayures et les pressions excessives, ils sont une preuve évidente que cette matière est impropre à fournir les conditions de plus grand effet dont on aurait besoin.

La moyenne de la tenacité maximum du bronze est si inférieure, — en fait elle dépasse de très-peu celle de la meilleure moyenne du fer coulé, — que la perte de force due au manque de tension et de compression initiale régulière devient un

défaut très-sérieux quand les calibres sont gros et les pressions élevées.

En cerclant le bronze avec de l'acier ou du fer pour y remédier, on n'éviterait pas d'avoir une surface d'âme défectueuse, ce que précisément on doit éviter.

500. Cependant les Hollandais ont doublé de bronze des canons de fer coulé, et le capitaine Blakely a construit quelques canons d'expérience dans le même genre, pour une autre raison : le bronze peut s'allonger plus sûrement que le fer coulé, sans changer sa figure d'une manière permanente ; et quand il est mis en position de ne pouvoir être allongé davantage par la pression interne, la force entière de toute la structure est alors mise en service, — le principe de l'élasticité variable que l'on a déjà considéré est réalisé approximativement (320).

501. Des cercles de bronze placés sur des barils d'acier ou de fer (106) éviteraient le défaut de la mollesse de l'âme, mais ils augmenteraient celui qui résulte de la dilatation inégale des couches d'un tube par la pression interne. Le principal avantage des cercles de bronze mentionné par M. Wiard (338) consiste en ce

qu'avec le peu de chaleur qu'ils reçoivent de la poudre, ils se dilateraient à peu près autant que le baril de fer le plus chauffé, diminuant ainsi le danger d'éclater par un tir précipité.

Section VI. — Autres alliages.

802. On sait que le phosphore augmente la force du cuivre et rend sa fonte plus solide. M. Abel, chimiste du département de la guerre en Angleterre, a établi devant l'Institution des ingénieurs civils, * qu'il avait fait quelques expériences sur les combinaisons du phospore avec le cuivre, et « qu'il avait trouvé que par l'introduction d'une petite portion de cette substance, soit de 2 à 4 pour cent de phosphore dans le cuivre, il produisait un métal remarquable par sa densité et sa tenacité, et supérieur sous tous les rapports au métal à canon ordinaire, l'alliage de cuivre et d'étain désigné sous le nom de bronze. Il pensait que l'effort moyen supporté

* « Construction de l'artillerie. » Instr. aux Ing. civils, 1860.

par le métal à canon pouvait être représenté par 31,000 livres par pouce carré ; tandis que la matière obtenue en ajoutant du phosphore au cuivre supportait un effort de 48,000 à 60,000 livres. Mais l'augmentation de tenacité n'était pas le seul bénéfice résultant de ce traitement du cuivre. La matière était rendue plus uniforme dans toutes ses parties, ce qui n'existe pour ainsi dire jamais dans le métal à canon. Les expériences auxquelles on fait allusion n'étaient que des préludes, et elles ont été jusqu'à un certain point contredites par les perfectionnements que l'on a introduits depuis dans la construction des canons de campagne, qui a conduit à renoncer à l'emploi du métal à canon. » Les perfectionnements dont il est ici question sont le fer forgé et l'acier, et les procédés de fabrication Armstrong et Whitworth.

503. On a trouvé que l'aluminium augmente beaucoup la force du cuivre. La composition que l'on forme ainsi s'appelle bronze d'aluminium. M. Anderson, surintendant de la fabrique royale de canons de Woolwich, a trouvé que la force de tension d'un alliage de 90 pour cent de cuivre avec 10 pour cent d'aluminium, est de 73,181

livres par pouce carré, ou deux fois celle du métal à canon; et que sa résistance à l'écrasement est de 132,146 livres, celle du canon étant 120,000 livres. Le bronze d'aluminium n'a commencé à changer de figure que quand la pression a dépassé 20,384 livres. On a trouvé que la force transversale ou la rigidité était supérieure à celle du métal à canon dans le rapport de 44 à 1. Sa tenacité et son élasticité dépendent d'un nombre particulier de fusions : en commençant à se fondre, il est très-cassant, et il revient dans cet état après la fusion *.

« La première fusion paraît produire un mélange mécanique interne, plutôt qu'une combinaison chimique des métaux; attendu qu'avec la proportion de 10 d'aluminium et de 90 de cuivre, on produit un alliage d'une nature très-cassante pour la première fusion; mais en répétant la fusion on renouvelle la chance d'unir d'une manière définitive une composition chimique; une combinaison plus uniforme semble se produire, et l'on a un métal qui n'est plus cassant et possède à peu près la dureté du fer. L'alliage

* Philosophical magazine.

qui renferme un peu moins de 10 pour cent d'aluminium passe pour posséder la composition la plus uniforme et le degré le plus élevé de dureté, mais ce n'est pas toujours une chose facile de produire cette uniformité désirable dans la contexture du métal, car il survient parfois des places d'une dureté extrême qui résistent aux outils et sont de toute façon réfractaires à l'action des rouleaux *. »

M. Anderson a trouvé que le bronze d'aluminium composé d'un poids de 9 parties de cuivre sur 1 d'aluminium a une force de tension d'environ 43 tonnes (96,320 livres) ; mais deux autres spécimens qui n'étaient pas tout-à-fait aussi bien confectionnés n'avaient qu'une force de tension moyenne d'environ 32 1/2 tonnes ** (50,400 livres). Ainsi la force du métal est sujette à de grandes variations.

Le prix de cet alliage, 6 sh. 6 d. ou 1 dollar 62 par livre, serait par conséquent un empêchement à ce qu'on puisse l'introduire sur une grande échelle, comme métal à canon.

504. Le métal sterro, récente invention du

* Newton, Journal of Arts.

** Correspondance du *Times* de Londres.

baron Rosthorn de Vienne, a été décrit par un correspondant du *Times* de Londres *, dans un article qui renferme tant de détails précis à d'autres égards, qu'il mérite d'être pris en considération : « Les propriétés mécaniques de l'alliage ont été soigneusement examinées à l'institution polytechnique de Vienne, en présence d'observateurs compétents, et j'ai maintenant sous les yeux une copie dûment attestée d'un tableau qui ne renferme pas moins que les résultats de 30 expériences parmi lesquelles je choisis les suivants : La force de tension par pouce carré est estimée en tonnes anglaises.

LXXIII. — **Force de tension du métal sterro.**

Expériences à l'Institution polytechnique de Vienne.

	Force de tension en tonnes.	Réduction en livres.
MÉTAL STERRO.		
Après une simple fusion	27	60480
Après avoir été forgé à la chal. rouge	34	76160
Après avoir été étiré à froid........	38	85120
MÉTAL A CANON. — BRONZE.		
Après une simple fusion	18	40320

* *Times* de Londres, 3 fév. 1863. Aussi cité par l'*Engineer* de Londres, 6 fév. 1863.

On a employé le même cuivre de Boston, États-Unis, pour faire le métal Sterro et le métal à canon ; et dans ce dernier, on a employé l'étain d'Angleterre. Les deux alliages étaient coulés dans des conditions identiques et couraient dans le même moule. On a fait des expériences identiques à l'arsenal de Vienne, elles ont donné les résultats suivants.

TABLEAU LXXIV. — **Force de tension du métal sterro.**

Expériences à l'Arsenal de Vienne.

	Force en tonnes.	Réduite en livres.
MÉTAL STERRO.		
Après une simple fusion	28	62720
Après avoir été forgé à la chal. rouge	32	71680
Étiré à froid et diminué de 100 à 77 de la surface de section transversale.	37	82880

On a analysé à la Monnaie de Vienne les spécimens du métal sur lequel on a opéré dans les expériences précédentes.

Voici les résultats de cette analyse.

Rosthorn de Vienne, a été décrit p...
...pondant du *Times* de Londres*, dans...
...e qui renferme tant de détails pré...
...res égards, qu'il *mérite* d'être pris en...
...ation : « Les propriétés mécaniques d...
...ont été soigneusement examinées à...
...n polytechnique de Vienne, *en pr*...
...bservateurs compétents, et j'ai maintenant...
...yeux une copie dûment attestée d'un tab...
...i ne renferme pas moins que les résultat...
...) expériences parmi lesquelles je choisis les...
...ants : La force de tension par pouce carr...
...stimée en tonnes anglaises.

LXXIII. — **Force de tension du méta**... **l ste**...

Expériences à l'Institution polytechnique de ...

MÉTAL STERRO.

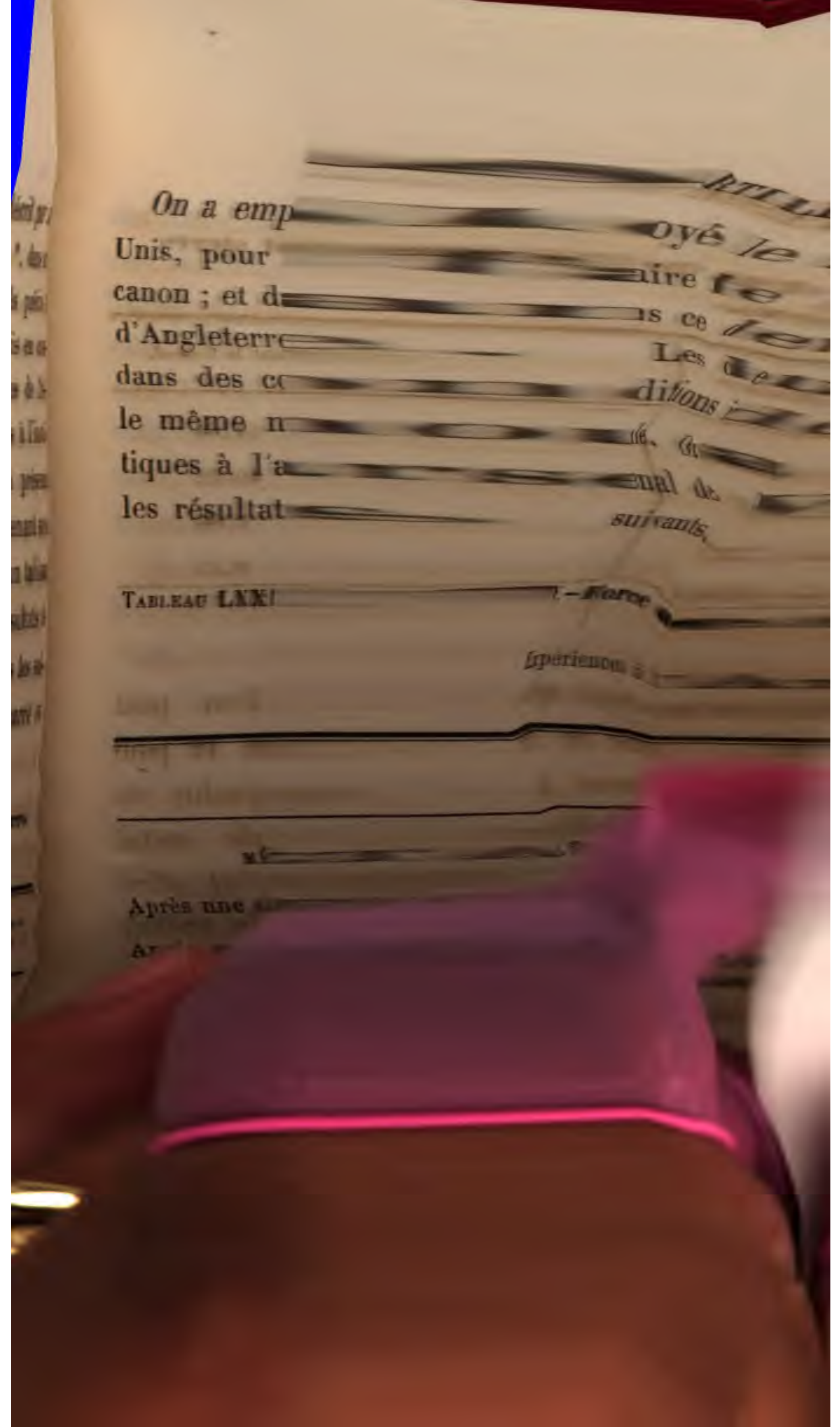
...une simple fusion,
...avoir été forgé à la
...avoir été étiré à fro...

...AL A CANON. —

...e simple fusi...

...s de Lon...

...s, ...



On a emp[illegible] *oyé le* [illegible]
Unis, pour [illegible] aire [illegible]
canon ; et d[illegible] s ce [illegible]
d'Angleterr[illegible] Les [illegible]
dans des c[illegible] ditions [illegible]
le même n[illegible] té. [illegible]
tiques à l'a[illegible] nal de [illegible]
les résultat[illegible] *suivants.*

TABLEAU LXX[illegible] —*Force* [illegible]

Expériences [illegible]

Après une [illegible]

A[illegible]

Tableau LXXV. — **Analyse du métal sterro autrichien.**

	Métal polytechnique.	Métal de l'arsenal.
Cuivre.............	55.04	57.63
Zinc..............	42.36	40.22
Fer	1.77	1.86
Étain.............	0.83	0.15
	100.00	99.86

« L'expérience a démontré que l'on peut varier la proportion du zinc de 38 à 42 pour cent sans affecter sensiblement la qualité de l'alliage. *** La pesanteur spécifique du métal forgé est de 8.37 et celle du même métal étiré à froid en fil d'archal, 8.40. *** Mais le métal sterro possède une autre qualité qui, quand on l'emploie pour canons, est regardée comme plus importante que sa tenacité supérieure, c'est sa grande élasticité. Il n'est pas allongé d'une manière permanente, à moins que de l'étendre de plus de $^1/_{600}$ de sa longueur. *** Il faudrait constater que le métal sterro est de 30 à 40 pour cent meilleur marché que le métal à canon. On a fait

des canons de campagne du calibre de 4 à 12 livres avec de simples pièces de métal forgées à la presse hydraulique, ce qui évite de grandes dépenses; mais des expériences dignes de foi ont démontré que le métal ainsi traité a précisément les mêmes propriétés et la même force de tension que les barres de ce même métal étirées sous le marteau à vapeur. ***

Il reste à voir si les chocs terribles occasionnés par le tir ne conservent pas d'avaries sérieuses à ce nouvel alliage et si la surface d'un métal qui contient une si grande proportion de zinc ne sera pas rongée d'une manière dangereuse. »

EXPÉRIENCES FAITES SUR LE MÉTAL STERRO A LA FABRIQUE ROYALE DE CANON DE WOOLWICH. — Nous donnons ci-après le rapport des expériences faites par M. John Anderson sur ce métal, composé et traité de diverses manières :

« La composition de cet alliage tel qu'on le fait à l'arsenal de Vienne est — cuivre, 60; zinc, 41.88; fer, 1.94; étain, 0.156. Celui que l'on fait à l'Institution polytechnique est composé de — cuivre, 60; zinc, 46.18; fer, 1.93; étain, 0.905.

On a fait à la fabrique royale de canons des composés identiques au métal autrichien, et l'on

en a obtenu des résultats supérieurs à ceux du métal autrichien. Le tableau ci-après donne les résultats des expériences des divers échantillons.

« On dit que ce métal a été inventé à Vienne par le baron Rosthron. Son nom vient d'un mot grec qui signifie « ferme. » Il se compose de cuivre et de zinc avec une petite portion de fer et d'étain, et on attribue des propriétés particulières à ces deux métaux.

« Il a la couleur du bronze jaune, le grain serré sans porosité, et possède une dureté considérable, ce qui en fait un métal éminemment bon pour tous les objets qui réclament de la résistance au frottement.

« Le métal-sterro possède une autre qualité encore plus importante que sa grande tenacité quand il s'agit de l'appliquer aux canons, c'est sa grande élasticité.

. L'inventeur propose de composer l'intérieur de la grosse artillerie en métal sterro par-dessus lequel on contracterait du fer forgé ou du fer coulé depuis la culasse jusqu'au delà des tourillons. »

505. On dit qu'un alliage de cuivre fait par la compagnie des manufactures Ames à

Chicopee, Massachussett, a une force de tension de 80,000 livres par pouce carré. Les détails de cette composition ne sont pas publics.

TABLEAU LXXVI. — **Composition et force du métal-Sterro, fait à Woolwich.**

COMPOSITION.	TRAITEMENT.	Effort à l'allongement permanent de .002 par po.	Poids de rupture.	Allongement maximum par pouce.
		tonnes.	tonnes.	Pouces.
Mélange autrichien	Tel qu'on l'a reçu...	6.75	26.75	0.1
Mélange de la fabrique royale. Cuivre, 60; zinc, 39; fer, 3; étain, 2	Coulé en sable	11.	21.5	0.05
Dito Dito Dito 15; cuivre, 60; zinc, 44; fer, 4; étain, 2..	Coulé dans du sable..	13.75	19.25	0.015
Dito Dito Dito	Coulé dans du fer...	17.25	24.25	0.016
Dito Dito Dito	Coulé dans du fer et recuit...........	15.25	23.25	0.02
Dito Dito Dito	Forgé à la chal. rouge	17.	28.	0.045

506. Dans la discussion devant l'Institution des ingénieurs civils dont il a été question plus haut, M. Charles Fox a dit « qu'il croyait qu'on trouverait à l'aventure qu'on pouvait

construire le meilleur canon avec quelque alliage extrêmement dense et homogène, coulé et employé sans l'étirer sous le marteau. Si on faisait un canon avec un alliage possédant une très-grande densité, la force détonnante de la poudre rencontrerait une plus grande somme de résistance, en raison de la quantité de métal employé, qu'elle ne pourrait le faire si l'on faisait usage d'un métal ayant une élasticité plus grande. Il pensait donc qu'on ferait les meilleurs canons avec du fer mélangé avec quelques autres métaux tels que la galène de fer ou le titane de manière à lui assurer une force et une densité plus grande. M. Mushet avait obtenu une grande densité en mélangeant avec du fer une portion de Wolfranc ou galène de fer, et l'emploi du titane avait donné une grande force à sa composition. Par conséquent, il inclinait à croire, que les canons coulés avec les alliages les plus denses auraient un plus grand effet, en proportion de leur épaisseur, que celui que l'on obtenait de toute espèce de construction compliquée et dispendieuse. »

507. Il est évidemment impossible, en l'absence d'expériences ultérieures de prédire, le

succès ou l'échec des alliages que l'on a examinés par comparaison avec l'acier. Le champ des découvertes et des perfectionnements est certainement vaste et plein d'espérances, mais pas davantage que dans le cas de l'acier. Quoique les alliages du cuivre pour les canons en particulier, aient été pratiqués pendant plus de cinq cents ans, et qu'ils devraient par conséquent être en avance sur la fabrication de l'acier, qui, en ce qui regarde l'artillerie, est l'ouvrage des dix dernières années, les deux métaux — en fait tous les métaux, n'ont pas été développés, parce que leurs rapports chimiques et leur allongement en particulier, dans les limites de leur élasticité et au-delà, et les pressions qui y correspondent n'ont pas été étudiées avec tout le soin convenable.

Tandis que certains alliages de fer et de cuivre réunis ont un trait commun très-important, l'homogénéité due à leur fusibilité a des températures praticables, — les alliages du fer ont ce grand avantage : que le fer est partout à bon marché et très-abondant ; et les autres ingrédients et fondants nécessaires, — le carbone, le manganèse, le zinc et le silicium, — sont également abondants et déjà mélangés au fer

dans quelques localités, ce qui paraîtrait avantageux par-dessus tout, quoique les mélanges ne soient pas faits dans la proportion convenable.

508. Conclusions. — 1° La convenance des métaux pour canon dépend principalement de la quantité de leur allongement dans les limites de l'élasticité, et de la quantité de pression requise pour produire cet allongement; c'est-à-dire qu'elle dépend de leur élasticité.

Elle dépend aussi, s'il faut combiner le moindre poids possible avec la plus grande force pour prévenir les éclats par explosion, de la quantité d'allongement et de la pression qui y correspond au-delà de la limite de l'élasticité; c'est-à-dire de la ductilité du métal.

La dureté pour résister à la compression et à l'usure est l'autre qualité la plus importante.

2° Le maximum de tenacité, d'élasticité et de ductilité du fer coulé est le moindre de tous : mais ce métal est plus dur que le bronze et le fer forgé; il est plus uniforme et mérite plus de confiance que le fer forgé parce qu'il est plus homogène.

L'inégalité du refroidissement des coulées

massives les laisse sous les efforts de rupture qu'ils ont à l'origine; mais les coulées creuses, et le refroidissement par l'intérieur sont un remède à ce défaut, et à d'autres défauts de moindre importance.

3° Le fer forgé a l'avantage de posséder une somme d'élasticité considérable, un grand degré de ductilité et un maximum de tenacité supérieur à celle du fer coulé; mais, comme i faut souder de grandes masses avec de petits morceaux, on ne peut compter sur cette tenacité; ce défaut néanmoins consiste plutôt dans le procédé de fabrication que dans la matière, et on peut le modifier en perfectionnant les procédés. Un autre défaut très-sérieux du fer forgé est sa mollesse et la propriété qu'il a de céder sous la pression et le frottement.

4° L'acier inférieur coulé, a un maximum de tenacité et de dureté supérieur à celui de tous les autres métaux, et, ce qui est plus important, avec un égal degré de ductilité, il a l'élasticité la plus élevée.

Il a sur le fer forgé le grand avantage de l'homogénéité, dans des masses de toute grandeur.

Contrairement aux autres métaux, il est susceptible d'une grande variation dans sa densité, par le simple procédé du durcissement et de la recuite, et par conséquent on peut l'approprier aux divers degrés d'allongement auxquels il doit satisfaire, soit qu'on l'emploie dans les canons massifs ou dans ceux d'assemblage.

5° Le bronze a un maximum de tenacité supérieur à celui du fer forgé, mais il a un peu plus d'élasticité et moins d'homogénéité; il a un grand degré de ductilité, mais il est le plus mou des métaux à canon et il s'avarie par l'échauffement des fortes charges.

Les autres alliages de cuivre sont très-dispendieux, et leur durée avec de grosses charges n'a pas été déterminée.

6° En vue du service réclamé des canons modernes, le simple fer coulé est trop faible, quoiqu'on puisse l'employer avec avantage pour faire des enveloppes aux tubes d'acier, — position où la masse, le peu d'extensibilité, l'application à bon marché des tourillons et autres projections de la pièce sont les qualités principalement requises. Et quoique les barils en fer coulé, cerclés avec le meilleur fer

forgé et avec de l'acier inférieur, ne puissent remplir toutes les conditions théoriques de force et ne supportent pas les plus fortes charges, ils ont prouvé que, de cette façon, ils étaient très-efficaces et méritaient toute confiance.

On ne peut se fier au fer forgé en grandes masses, et dans tous les cas, il est trop mou.

La mollesse du bronze le rend inserviable dans la pratique, et la chaleur le détruit.

L'acier inférieur est donc (il se pourrait que ce fût en le réunissant au fer coulé, comme on l'a dit plus haut), par l'association des qualités qu'on pourrait appeler la force et la tenacité, la seule matière dont on puisse espérer une résistance suffisante contre les hautes pressions réclamées par les combats modernes.

(La suite au prochain numéro.)

ÉTUDE

DES

ARMES A FEU PORTATIVES RAYÉES

PAR M. CAVELIER DE CUVERVILLE,
Lieutenant de vaisseau.

(*Suite.* — Voir le numéro du 15 juin, page 425.)

DEUXIÈME PÉRIODE.

Résumé des expériences de 1845-1846.

Inconvénients des armes rayées à chambre.

Les principaux inconvénients des armes qui furent établies à la suite des expériences que nous venons de résumer, consistaient dans l'emploi des *culasses à chambre* qui, tout en compliquant la fabrication, augmentaient le prix de revient de l'arme; ces culasses exigeaient en outre des cartouches spéciales, dont le sabot et le calepin compliquaient la fabrication et qui se détério-

raient beaucoup plus facilement que la cartouche ordinaire de l'infanterie. Les approvisionnements devenaient plus difficiles; la graisse du calepin se fondait par les temps chauds; les sabots, quoique fabriqués avec un bois sec et dur, étaient sujets à se fendre ou à se gonfler par l'humidité, et quelquefois même ne pouvaient plus entrer dans le canon ou se brisaient dans le chargement bien que le diamètre primitif eût été en rapport avec le calibre.

En 1844, M. *Thouvenin*, officier d'artillerie, proposa de supprimer la chambre et de revenir aux culasses à bouton plein; une tige en acier vissée dans la culasse devait servir de point d'appui à la balle pendant son forcement par la baguette; en même temps M. *Minié*, officier d'infanterie, proposa de substituer aux balles sphériques des balles de forme conique imitées de balles incendiaires dont M. *Delvigne* s'était servi au siége d'Alger. MM. Thouvenin et Minié, unissant leurs efforts, déterminèrent dans toutes ses parties une nouvelle arme dont voici les principales données :

Données principales de la carabine à tige et de la balle cylindro-ogivale présentées en 1844 *par MM. Thouvenin et Minié.*

Longueur de canon : $0^{m},86$. — Calibre $17^{mm},5$. — 4 rayures au pas de $1^{m},237$ et d'une profondeur uniforme de $0^{m},5$. — Les rayures, de forme arrondie, avaient 7 millimètres de largeur. — La tige cylindrique en acier avait $8^{mm},5$ de diamètre et s'élevait à 38 millimètres au-dessus du bouton de culasse, dans lequel elle était vissée de 10 millimètres. — La balle (voir Pl. 1, *fig.* 4), du calibre de $17^{mm},2$ et d'une hauteur totale de 29 millimètres, pesait $47^{g},7$; sa forme était tronconique-ogivale et elle présentait, à l'instar des balles de M. Delvigne, une gorge circulaire à la hauteur de la grande base du tronc de cône ; dans le principe, cette gorge avait dû recevoir un fil de laine graissé destiné à suppléer à l'emploi de calepin, mais M. Minié trouvant qu'il nuisait à la justesse le supprima, et tout en conservant la cannelure, pour utiliser ses moules, il fit une cartouche de papier graissé analogue à celle qui est aujourd'hui en usage. — La charge était de

4g,20. — Pour charger on se servait d'une baguette à tête fraisée, destinée à conserver la forme conique de la partie antérieure de la balle.

Il fut prescrit d'établir une arme en prenant pour point de départ les propositions de MM. Thouvenin et Minié, et le programme donné à la Commission nommée à cet effet, mit à l'étude les *armes rayées à tige* et constitua la *deuxième période des expériences faites en France sur les armes rayées*.

La Commission d'expériences commença par arrêter les éléments de l'arme qui devaient être réglés par des conditions de service plutôt que de tir ; tels étaient *le calibre du canon, sa longueur et le diamètre de la tige*.

DÉTERMINATION

I. — *Du calibre de l'arme et de celui de la balle.*

Le calibre du canon devait être tel qu'on pût utiliser au besoin les munitions ordinaires. Il fallait aussi que dans le cas où l'on viendrait à

transformer à tige les fusils d'infanterie, les cartouches adoptées pussent servir sans modification dans les armes transformées, afin de ne pas multiplier les munitions.

On adopta en principe le calibre de 17mm,2 pour toutes les balles et on fixa à 17mm,6 le calibre des canons à essayer; un calibre plus faible eût empêché de se servir des cartouches d'infanterie à balle sphérique; un calibre plus fort eût entraîné une augmentation dans le poids déjà considérable de la balle, ou une augmentation du vent de l'arme, ce qui eût altéré la justesse.

De la longueur du canon.

Si la longueur du canon est subordonnée aux conditions de justesse et de portée, elle doit aussi satisfaire aux conditions de service, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer; tout en portant juste et loin, une carabine de guerre doit satisfaire aux conditions suivantes :

1° Elle doit être une bonne arme de main, et sa longueur ne doit pas être trop inférieure à celle des armes généralement en usage.

2° La longueur du canon doit permettre d'exécu-

ter le feu sur deux rangs facilement et sans danger.

3° Le poids total ne doit pas dépasser les limites raisonnables, malgré l'épaisseur un peu plus considérable donnée au canon.

4° La mise en joue ne doit pas être trop pénible, même avec la baïonnette au bout du canon.

5° L'axe du canon doit pouvoir être maintenu vertical pendant qu'on force la balle dans les rayures, ce qui permet d'obtenir un forcement plus régulier.

Ces considérations firent maintenir la longueur de $0^m,860$ adopté pour le canon de la carabine proposée.

Du diamètne de la tige.

La tige devait présenter une solidité suffisante sans réduire par trop l'espace annulaire destiné à contenir la charge ; elle devait de plus permettre un nettoyage facile du fond du canon. Son diamètre fut fixé à 9 millimètres.

Ces premiers éléments arrêtés, tous les autres devaient se déduire du résultat des expériences. Le premier dont on s'occupa fut la longueur de

la tige qui réglait la grandeur de l'espace annulaire, où se développaient tout d'abord les gaz de la poudre.

II. — *De la longueur de la tige.*

La Commission partit d'une longueur maximum de 60 millimètres, et elle essaya successivement les longueurs de 60 — 50 — 45 — 40 — 37 — 34 — 31 — 28 et 25 millimètres ; pour chaque longueur elle fit varier la charge de demi-gramme en demi-gramme depuis 3 grammes jusqu'à 5 grammes.

Le tir eut lieu sur affût et à une distance unique de 600 mètres, très-convenable pour une arme à longue portée, et suffisante pour bien mettre en évidence les irrégularités du tir. Tous les coups furent tirés sur un panneau carré de 4 mètres de côté. Comme il était important d'opérer le forcement de la balle d'une manière régulière pour tous les coups, on se servit dans ce but d'une même baguette massive, d'un poids considérable, et pour chaque coup on la laissa tomber dans le canon d'une hauteur constante. Pour protéger la partie antérieure de la balle, on dis-

posa à cette baguette une tête fraisée coniquement et qui pouvait se changer à volonté ; la première fraisure employée avait 12 millimètres de hauteur.

On prit les valeurs des *hausses* obtenues et les *écarts absolus moyens* (1). Les valeurs des hausses augmentant avec les hauteurs de tige, pour une même charge, on en conclut que la portée diminuait à mesure que la longueur de tige augmentait. On vit encore que pour une même longueur de tige, les hausses augmentaient à mesure que les charges diminuaient.

De l'examen des écarts absolus moyens, il résulta que, pour une même charge, la justesse augmentait avec la réduction de la longueur de la tige jusqu'à une certaine limite, au-delà de la-

(1) On désigne sous le nom général *d'écart*, soit la distance d'un point à un autre, soit la distance d'un point à une droite; l'*écart absolu* d'un coup est la distance de ce coup à l'intersection des axes l'un vertical, l'autre horizontal, auxquels sont rapportées les cotes de ce coup; — l'*écart absolu moyen* est la moyenne des écarts absolus. La comparaison des *écarts absolus moyens* de plusieurs armes permet jusqu'à un certain point d'apprécier la justesse relative de ces armes. (*Voir mon cours de tir à l'usage des officiers qui n'ont pu suivre les cours de l'École de Vincennes*, p. 273. — J. Dumaine, 1864.)

quelle de nouvelles réductions de la tige, donnaient une diminution de justesse. Pour chaque charge il existait une longueur de tige qui donnait la plus grande justesse, et la Commission la détermina ainsi qu'il suit : Pour 5 grammes, longueur de la tige — $42^{mm},2$; — $4^{g},50$ — $36^{mm},0$; — 4^{g} — $33^{mm},9$; — $3^{g},50$ — $29^{mm},6$; — 3^{g} — $25^{mm},3$.

Pour les différentes longueurs de tige, la plus grande égalité de tir s'obtenait d'ailleurs avec les charges de 4 gr. et de 4 gr. 50.

III. — Des éléments des rayures.

La longueur de la tige correspondant à chaque charge ayant été déterminée, on s'occupa de déterminer les éléments des rayures et tout d'abord leur inclinaison :

1° *Inclinaison.*

La commission fit rayer des canons du calibre de $17^{mm},0$ avec des inclinaisons plus grandes et plus petites que celle de la carabine qui lui était présentée. On eut ainsi neuf canons qui présentaient comme pas la série suivante : $0^{m},50$; — $0^{m},75$; —

1m,00 ; — 1m,25 ; — 1m,50 ; — 1m,75 ; — 2m,00 ; — 2m,50 ; — 3m,50. Parmi ces canons, les uns étaient rayés de gauche à droite, les autres de droite à gauche, la Commission ignorant les effets qui pouvaient résulter de cette disposition; chacune de ces armes fut tirée avec les différentes charges depuis 3 grammes jusqu'à 5 grammes, en employant la meilleure longueur de tige correspondante.

On reconnut que les pas compris entre 0m,75 et 2m,50 donnaient, pour une même charge, quelle qu'elle fût, des justesses peu différentes les unes des autres, mais que les pas de 0m,50 et de 3m,50 donnaient, avec toutes les charges, des variations considérables et une justesse moindre. Quel que fût d'ailleurs le pas employé, les résultats les meilleurs et les plus constants correspondaient encore aux charges de 4 gr. et de 4 gr. 50.

Fixation définitive de la charge et de la longueur de la tige.

La charge qui produisait la justesse maximum devait donc différer fort peu de la charge de 4 gr. 20, proposée par les inventeurs; aussi ce fut elle qu'on résolut d'adopter ; mais, pour parer aux pertes

qui pouvaient résulter de la confection et du transport des cartouches, la Commission crut devoir la porter à 4 gr. 50. La longueur de tige correspondante, 38 millimètres, fut alors adoptée, après qu'on eut constaté que cette hauteur était suffisante pour que, malgré l'encrassement produit par un tir de 50 à 60 coups, la charge de poudre ne remplît pas exactement l'espace compris entre la tige et les parois du canon.

L'examen des hausses employées dans ces tirs fit voir qu'elles n'éprouvaient qu'une faible variation, quelle que fût l'inclinaison des rayures; toutefois la Commission remarqua que les hausses les plus faibles correspondaient aux pas de $1^m,75$ et 2 mètres.

Sens des rayures.

Tous les canons rayés de droite à gauche donnaient, avec les projectiles que l'on employait, une déviation à gauche, et tous les canons rayés de gauche à droite, une déviation à droite; cet écart dans le sens de l'inclinaison des rayures, parfaitement constaté toutes les fois que par un temps calme on avait tiré sur affût à plus de 300 mètres, reçut le

nom de *dérivation* pour le distinguer de l'écartement des coups entre eux. On constata que, dans les conditions où l'on était placé, la dérivation était minimum pour le pas de 2 mètres; et cette circonstance jointe à la remarque que les soldats avaient une tendance générale à viser par la droite du guidon et à incliner la hausse vers la gauche, surtout pour le tir aux grandes distances (irrégularité qui entraînait une déviation à gauche), décida la Commission à adopter le pas de 2 mètres et à rayer les armes de gauche à droite.

2° *Forme.*

On s'était arrêté, en principe, aux rayures en hélice, de forme arrondie, que les expériences de 1833-34 avaient déjà signalées comme les plus avantageuses; cette forme fut maintenue; rayures larges, peu profondes, à angles vifs et à fond concentrique à la paroi de l'âme limitée dans la section transverse par deux parallèles au diamètre qui en réunit les milieux.

3° *Nombre et largeur.*

Toutes les expériences se firent avec des canons

ayant quatre rayures héliçoïdales de profondeur uniforme. En dépassant le nombre de quatre rayures, on était obligé de réduire leur largeur qui avait été fixée égale à celle des pleins ; le nettoyage devenait plus difficile, le rayage plus long et plus coûteux.

En restant au-dessous de quatre, on pouvait craindre que la balle ne fût pas assez bien maintenue pendant son trajet dans l'âme. Des essais comparatifs sur trois canons présentant respectivement 3, 4 et 5 rayures héliçoïdales du pas de 2 mètres, charge, 4 gr. 50, poids de la balle environ 47 grammes, conduisirent à adopter le nombre 4 comme donnant des résultats supérieurs aux résultats obtenus avec 5 et comme assurant plus solidement que 3 le maintien de la balle dans les rayures. La largeur des vides fut conservée égale à celle des pleins.

4° *Profondeur.*

Pour déterminer leur profondeur, on raya successivement le même canon aux profondeurs uniformes de 0^{mm},3, — 0^{mm},4 — 0^{mm}5. La profondeur de 0^{mm},5, paraissant préférable aux deux autres et

l'idée des grandes profondeurs prédominant encore, on crut devoir l'adopter. Une profondeur plus considérable eût affaibli le canon et rendu plus difficile le forcement de la balle.

Rayures progressives.

Mais, à ce moment, la Commission fut amenée à étudier une nouvelle disposition de rayures par laquelle la profondeur diminuait progressivement du tonnerre à la bouche.

On avait voulu envoyer en Afrique (1845) un détachement de canonniers armés de fusils d'infanterie rayés, tirant la balle oblongue; les armes qu'il fallait transformer dans ce but ayant moins d'épaisseur que la carabine, on craignit de les affaiblir par trop en adoptant la profondeur uniforme de $0^{mm},5$; on chercha donc s'il n'était pas possible, en partant d'une profondeur de $0^{mm},5$ au tonnerre, de la faire diminuer progressivement jusqu'à la rendre nulle à la bouche; les expériences mirent en relief les avantages de cette disposition pour les balles forcées par le choc de la baguette. On conçoit en effet, *à priori*, qu'avec des rayures uniformes, le papier qui enveloppe la balle et les dente-

lures ou ailettes de la balle elle-même, s'usent par le frottement qu'ils éprouvent dans le canon, et qu'arrivée vers la bouche, la balle ne soit plus aussi bien forcée qu'à son départ du tonnerre. Avec des rayures progressives au contraire, l'usure du papier et du plomb est compensée par la diminution de profondeur des rayures, et le forcement se conserve ainsi plus régulier. La balle se trouve mieux assurée dans sa direction primitive et son axe se confond mieux avec celui du canon.

En tirant comparativement deux canons de carabine, l'un à 4 rayures d'une profondeur uniforme de $0^{mm},5$, l'autre à 4 rayures d'une profondeur de $0^{mm},5$ au tonnerre et de $0^{mm},3$ à la bouche, l'avantage de justesse resta à ce dernier qui fut cependant inférieur au premier sous le rapport de la portée ; toutefois l'avantage de justesse décida la Commission à adopter cette disposition pour la carabine à tige.

IV. — Du poids et de la forme de la balle. — Avantages des projectiles allongés.

L'emploi des balles allongées rendait nécessaire l'étude de l'influence de cette nouvelle forme sur

les effets du tir. L'avantage qu'il y a à augmenter le poids des projectiles tout en leur conservant la même vitesse initiale, et à diminuer l'étendue de la surface sur laquelle s'exerce l'action directe de la résistance de l'air, est évident.

Le poids d'un projectile allongé ne dépendant pas uniquement de son diamètre, mais dépendant surtout de sa longueur qui peut varier dans des limites très étendues, — la réduction de son diamètre permettant d'ailleurs de diminuer l'étendue de sa surface extérieure, — il en résulte qu'avec la forme allongée il est possible d'employer des projectiles plus lourds que les projectiles sphériques, quoique présentant une même surface à la résistance de l'air ou une surface moindre, et par suite donnant moins de prise à son action. Les projectiles allongés ne jouissent toutefois de cette supériorité sur les projectiles sphériques qu'à la condition expresse de conserver pendant toute la durée de leur trajet une position telle, que la surface sur laquelle s'exerce directement l'action de la résistance de l'air, reste constamment la plus petite possible, et cette condition ne se trouve remplie qu'autant que l'axe de ces projectiles se trouve maintenu dans la direction du mouvement de translation. Tel est le

but du mouvement de rotation qu'on parvient à imprimer aux projectiles allongés autour de leur axe de translation à l'aide des rayures. Il est à remarquer que par suite de la forme ogivale donnée à la partie antérieure des projectiles allongés, l'air circule beaucoup plus facilement le long de leurs parois et que dès lors son influence retardatrice diminue.

L'examen des empreintes que les balles laissaient sur les panneaux d'épreuves ayant démontré que les balles allongées conservaient la pointe en avant pendant tout leur trajet, la Commission, voulant se rendre compte des excellents résultats donnés par la balle oblongue primitive, rechercha l'influence que pouvait exercer toute variation dans la hauteur de la partie cylindrique ou le poids de la balle, et dans la hauteur de la partie ogivale ou la forme de la partie antérieure.

Influence de la hauteur de la partie cylindrique ou du poids.

Les *pertes de vitesse* étant en raison inverse des poids des projectiles, toutes choses égales d'ailleurs, on recherche d'abord ce que produiraient

des variations dans le poids des projectiles allongés. En conséquence, sans toucher au calibre ni à la partie antérieure, on fit varier la hauteur de la partie cylindrique ; on établit ainsi cinq balles cylindro-coniques ayant toutes le même calibre (17^{mm},2), la même partie conique (18^{mm},0) et dont les cylindres croissaient progressivement depuis 6^{mm},0 jusqu'à 18^{mm},0, de manière à présenter sous une même surface antérieure des poids de plus en plus grands et comprenant entre eux celui de la balle proposée (47^{g},7). La partie cylindrique de ces balles ne présentait pas la *cannelure* de la balle ogivale parce qu'on n'en avait point apprécié jusque-là l'utilité.

La Commission tira toutes ces balles avec les pas d'hélice et les charges qui, après quelques essais, lui parurent les plus convenables.

La balle n° 1 (partie cylindrique : 6^{mm},0) donna des résultats si mauvais, qu'ils ne furent pas relevés. La balle n° 3 (partie cylindrique : 12^{mm},0) obtint une supériorité marquée, non-seulement sur la balle n° 2 qui lui était inférieure en poids, mais encore sur les balles n° 4 et n° 5, dont le poids était beaucoup plus considérable. Le tir de ces projectiles, comme justesse et comme portée,

fut d'ailleurs très-inférieur à celui de la *balle primitive ;* son poids n'était donc pas la seule cause de sa supériorité.

INFLUENCE DE LA HAUTEUR DE LA PARTIE OGIVALE.

On fut ainsi conduit à étudier la forme ou la hauteur de la partie ogivale antérieure. Sans toucher aux moules à balles, on parvint à modifier la forme de la partie antérieure de la balle primitive en employant, pour la forcer, un jeu de têtes de baguette présentant des fraisures qui avaient toutes une entrée de 16 millimètres de diamètre, et des profondeurs variant de millimètre en millimètre depuis 9 millimètres jusqu'à 16 millimètres. Les résultats obtenus prouvèrent que ce n'est pas le cône le plus allongé qui donne le maximum de justesse, que celui-ci s'obtient avec une fraisure de 10 à 11 millimètres et que, dans les limites où l'on s'était placé, les hausses n'accusaient pas de différences bien appréciables dans les portées avec les diverses fraisures. Les hausses ne diminuaient pas à mesure que le cône devenait plus aigu, et les cônes les plus obtus n'étaient pas ceux qui exigeaient les plus fortes hausses.

Ces faits se trouvaient ainsi d'accord avec ceux qu'on avait déjà observés dans la recherche de la résistance des fluides, à savoir ; « que la hau-« teur de la partie antérieure amincie ou arrondie « d'un corps qui se meut dans un fluide, ne peut « varier qu'entre des limites assez restreintes « pour vaincre avec plus de facilité la résistance « que les molécules de ce fluide opposent à son « passage. »

INFLUENCE DE LA HAUTEUR TOTALE.

On songea alors à faire varier en même temps la hauteur de la partie cylindrique et celle de la partie ogivale ; pour cela, on soumit les cinq balles d'expériences précédemment décrites à l'action des différentes fraisures de baguette.

Les balles d'expériences 1, 2, 5, soumises à l'action de ces têtes de baguettes, donnèrent des résultats assez intéressants.

La balle n° 1, qui n'avait pas marché avec 18mm de longueur de cône, soumise à une fraisure de 15mm donna des résultats assez satisfaisants, et l'on remarqua en général que les meilleurs tirs s'obtenaient avec des hauteurs de

fraisure d'autant plus petites que les balles étaient plus longues ; c'est ainsi qu'on trouva : pour la balle n° 2, 11^{mm} ; — n° 3, 9^{mm} ; — n° 4, 8^{mm},0 ; n° 5, 7^{mm},0. Ainsi : « si on augmente la hauteur de la partie cylindrique, il faut diminuer la hauteur de la partie ogivale et réciproquement. »

Les expériences faites depuis cette époque ont démontré que pour une balle donnée, il existe une inclinaison de rayures qui est la plus convenable, et que si on augmente la longueur totale de la balle, il faut diminuer le pas des rayures et réciproquement ; c'est-à-dire, que la vitesse de rotation doit augmenter à mesure que la longueur du projectile augmente elle-même.

(La suite prochainement.)

TABLE DES MATIÈRES

Contenues dans le tome XV. — 3e Série

DU JOURNAL DES ARMES SPÉCIALES

Nº 7. — 15 JUILLET 1865.

Traité d'artillerie et cuirasses, par M. HOLLEY,

PREMIÈRE PARTIE. — ARTILLERIE.

Planches et figures des 170 illustrations contenues dans les chapitres I, II et III, première livraison.

Nº 8. — 15 AOUT 1865.

Traité d'artillerie et cuirasses, par M. HOLLEY,

PREMIÈRE PARTIE. — ARTILLERIE.

FIN DE LA TABLE DU TOME XV. — V° SÉRIE.

Sceaux. — Imprimerie de E. Dépée.

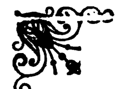
TABLE DES MATIÈRES DU N° 9.

15 SEPTEMBRE 1865.

Traité d'artillerie et cuirasses, par M. HOLLEY.

PREMIÈRE PARTIE. — ARTILLERIE.

FIN DE LA TABLE.




AVERTISSEMENT DE L'ÉDITEUR.

Le Journal des Armes spéciales et de l'état-major. — Recueil scientifique du génie, de l'artillerie, de la topographie militaire, etc., etc., publié sur les documents fournis par les officiers des armées françaises et étrangères, par J. Corréard, ancien ingénieur, paraît le 15 de chaque mois; chaque numéro se compose d'un cahier de dix à douze feuilles in-8°, orné de Planches.

Trois livraisons de texte forment un volume.

PRIX :

Pour Paris.	42 fr.
Pour les Départements.	48
Pour l'Étranger.	54

On s'abonne à Paris au bureau du journal, boulevard Saint-André, 3, maison de la fontaine Saint-Michel.

Et chez tous les libraires de France et de l'étranger, et dans tous les bureaux de poste.

Les lettres et paquets doivent être adressés francs de port.

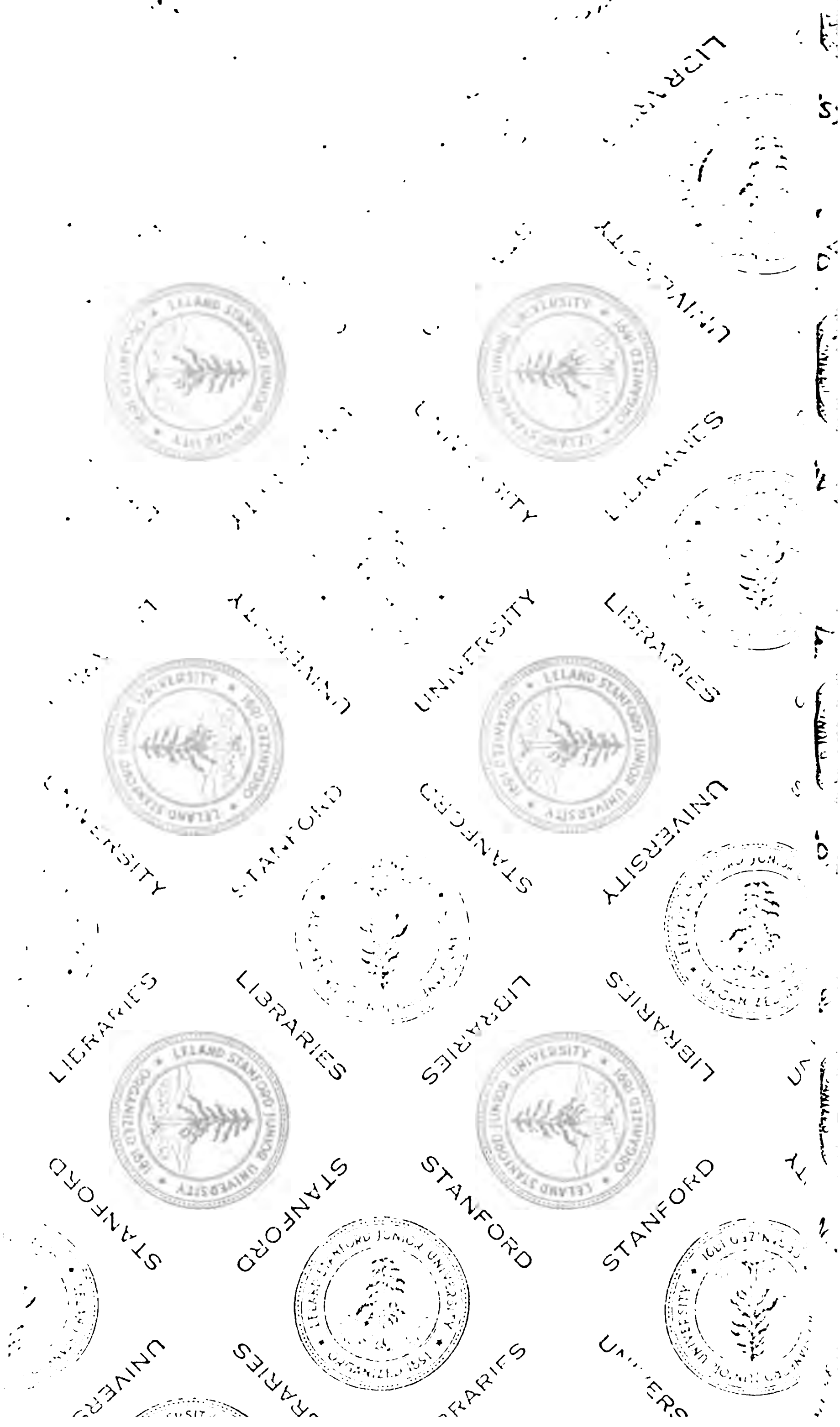
Nota. La collection est composée des années 1834 à 1862. On pourra se procurer chaque année séparément au prix de 20 fr. l'année; et, à partir de 1863, l'année se vend 42 francs, parce que le journal paraît une fois par mois.

ON S'ABONNE A L'ÉTRANGER CHEZ :

Bailly-Baillière, à Madrid.
W.-C. Church, 39, Park Row, New-York.
Bocca (frères), à Turin.
Decq, à Bruxelles.
Doorman, à La Haye.
Dulau et Cᵉ, 37, Soho-Square, à Londres.
A. Cluzel, libraire de la bibliothèque impériale à Saint-Pétersbourg.
Host, libraire de l'Université de Copenhague et de la Société royale danoise des sciences, à Copenhague.
Issakoff, libraire-éditeur, commissionnaire officiel de toutes les bibliothèques des régiments de la garde impériale, à Saint-Pétersbourg.
Marietti (Pierre), à Turin.
Trübner et Cie, 60, Paternoster Row, à Londres.
Ch. Twietmeyer, à Leipsig.
Muquardt, à Bruxelles.
Van Cleef (frères), à La Haye.
Wolff, à Saint-Pétersbourg.



IMPRIMERIE DE E. DÉPÉE, A SCEAUX.



STANFORD
UNIVERSITY
LIBRARIES
LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY
ORGANIZED 1891